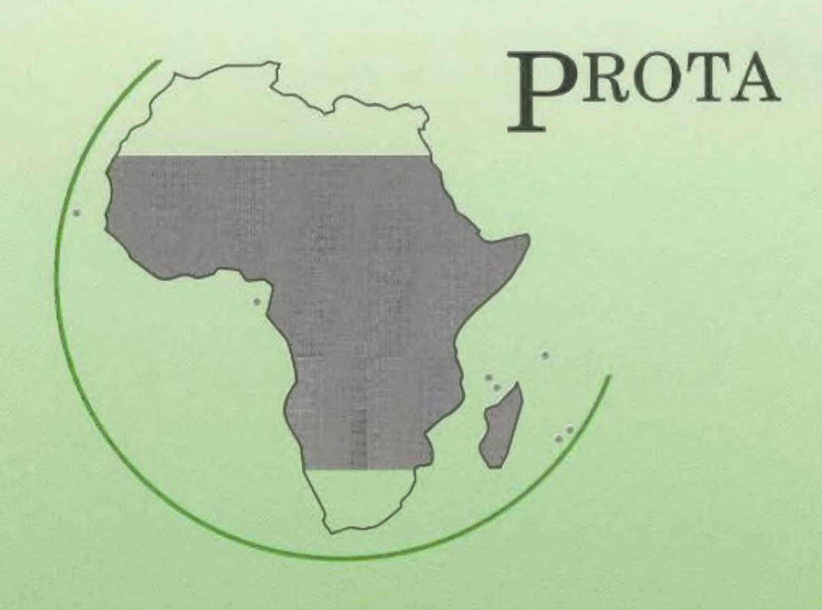


Céréales et légumes secs

Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1

Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1

Céréales et légumes secs

PROTA est une fondation internationale à laquelle participent les institutions suivantes :

- Wageningen University (WU), Plant Sciences Group (PSG), Haarweg 333, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Pays-Bas
- Agropolis International (AGROPOLIS), Avenue Agropolis, F-34394 Montpellier Cedex 5, France
- Royal Botanic Gardens Kew (RBGKEW), Centre for Economic Botany, Richmond, Surrey TW9 3AB, Royaume-Uni
- Centre National de Semences Forestières (CNSF), 01 B.P. 2682, Ouagadougou 01, Burkina Faso
- Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CENAREST), B.P. 842, Libreville, Gabon
- Forestry Research Institute of Ghana (FORIG), KNUST, University P.O. Box 63, Kumasi, Ghana
- Parc Botanique et Zoologique de Tsimbazaza (PBZT), B.P. 4096, Tsimbazaza, Antananarivo 101, Madagascar
- National Herbarium and Botanic Gardens of Malawi (NHBGM), P.O. Box 528, Zomba, Malawi
- Makerere University (MU), Department of Botany, P.O. Box 7062, Kampala, Ouganda
- World Agroforestry Centre (ICRAF), P.O. Box 30677, Nairobi, Kenya
- Prosea Foundation (PROSEA), P.O. Box 332, Bogor 16122, Indonésie

Cette publication a été réalisée grâce au soutien financier de :

- Netherlands Ministry of Agriculture, Nature and Food Quality
- Netherlands Ministry of Foreign Affairs, Directorate-General for International Cooperation (DGIS)
- Netherlands Organization for Scientific Research (NWO)
- Wageningen University, Pays-Bas

Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1

Céréales et légumes secs

Editeurs :	M. Brink G. Belay
Editeurs associés :	J.M.J. de Wet O.T. Edje E. Westphal
Editeurs généraux :	R.H.M.J. Lemmens L.P.A. Oyen
Editeurs traduction française :	M. Chauvet J.S. Siemonsma

Fondation PROTA / Backhuys Publishers / CTA
Wageningen, Pays-Bas, 2006

Citation correcte de cette publication :
Brink, M. & Belay, G. (Editeurs), 2006. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. [Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses. 2006]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas / Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas / CTA, Wageningen, Pays-Bas. 328 pp.

Citation correcte des articles de cette publication :
[Nom d'auteur, initiales, 2006. Titre de l'article]. In : Brink, M. & Belay, G. (Editeurs). Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Céréales et légumes secs. [Traduction de : Plant Resources of Tropical Africa 1. Cereals and pulses. 2006]. Fondation PROTA, Wageningen, Pays-Bas / Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas / CTA, Wageningen, Pays-Bas. pp. ...-....

ISBN 90-5782-172-9 (livre seul)
ISBN 90-5782-173-7 (livre + CD-Rom)

Traduction par AGROOH (www.agrooh.fr), France ; Hélène Corbière, 34070 Montpellier, France ; Guy Ferlin, 83110 Sanary, France.
Imprimé aux Pays-Bas par Ponsen & Looijen bv, Wageningen.
Distribué pour la Fondation PROTA par Backhuys Publishers, B.P. 321, 2300 AH Leiden, Pays-Bas (mondialement), et CTA, B.P. 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas (pays ACP).

Table des matières

Collaborateurs

- E.G. Achigan Dako, IPGRI West and Central Africa, 08 B.P. 0932, Cotonou, Benin (*Digitaria exilis, Macrotyloma geocarpum*)
- S.G. Agong, Department of Horticulture, Jomo Kenyatta University of Agriculture and Technology, P.O. Box 62000–00200, Nairobi, Kenya (*Amaranthus caudatus*)
- R. Akromah, Department of Crop and Soil Sciences, College of Agriculture and Natural Resources, KNUST, Kumasi, Ghana (*Vigna unguiculata*)
- D.J. Andrews, Department of Agronomy and Horticulture, University of Nebraska, P.O. Box 830817, Lincoln, NE 68583–0817, United States (*Pennisetum glaucum*)
- I.K. Asante, Department of Botany, P.O. Box LG55, University of Ghana, Legon. Accra, Ghana (*Vigna unguiculata*)
- G. Assefa, Humboldt University, Berlin, Faculty of Agriculture and Horticulture, Philipstrasse 13, House no. 9, 10115 Berlin, Germany / Ethiopian Agricultural Research Organization, Holetta Research Centre, P.O. Box, 2003, Addis Ababa, Ethiopia (*Avena sativa*)
- B. Badu-Apraku, IITA Ibadan, c/o Lambourn (UK) Limited, Carolyn House, 26 Dingwall Road, Croydon, CR9 3EE, United Kingdom (*Zea mays*)
- T.V. Balole, Botswana College of Agriculture, Private Bag 0027, Gaborone, Botswana (*Sorghum bicolor*)
- J.P. Baudoin, Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (FUSAGx), Unité de Phytotechnie tropicale et d'Horticulture, Passage des Déportés, 2, 5030 Gembloux, Belgium (*Phaseolus lunatus*)
- G. Bejiga, Green Focus Ethiopia, P.O. Box 802, Addis Ababa, Ethiopia (*Cicer arietinum, Lathyrus sativus, Lens culinaris*)
- G. Belay, Ethiopian Agricultural Research Organization, Debre Zeit Centre, P.O. Box 32, Debre Zeit, Ethiopia (*Eragrostis tef, Triticum aestivum, Triticum turgidum*, éditeur)
- G. Bezançon, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), B.P. 11416, Niamey, Niger (*Oryza glaberrima*)
- C.H. Bosch, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (*Bauhinia petersiana*)
- M. Brink, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (*Avena abyssinica, Brachiaria deflexa, Cenchrus biflorus, Cenchrus prieurii, Cordeauxia edulis, Craibia brownii, Crotalaria karagwensis, Crotalaria lachnophora, Digitaria iburua, Echinochloa frumentacea, Echinochloa obtusiflora, Echinochloa stagnina, Eragrostis aethiopica, Eragrostis annulata, Eragrostis nindensis, Eragrostis plana, Limeum obovatum, Macrotyloma uniflorum, Mucuna gigantea, Oryza barthii, Oryza longistaminata, Oryza punctata, Panicum kalaharense, Panicum laetum, Panicum turgidum, Phaseolus coccineus, Secale cereale, Setaria italica, Sporobolus fimbriatus, Sporobolus panicoides, Tylosema fassoglense, Urochloa mosambicensis, Urochloa*

trichopus, Vatovaea pseudolablab, Vicia hirsuta, Vigna aconitifolia, Vigna adenantha, Vigna subterranea, éditeur)
- S. Ceccarelli, ICARDA, P.O. Box 5466, Aleppo, Syria (*Hordeum vulgare*)
- M. Chauvet, Bureau national de PROTA pour la France, Agropolis International, Avenue Agropolis, F-34394 Montpellier Cedex 5, France (éditeur de la traduction française)
- K.E. Dashiell, USDA-ARS Northern Grains Insect Research Laboratory, 2923 Medary Avenue, Brookings SD 57006, United States (*Glycine max*)
- J.M.J. de Wet, Department of Crop Sciences, Urbana-Champaign, Turner Hall, 1102 South Goodwin Avenue, Urbana, IL 61801, United States (*Eleusine coracana*, éditeur associé)
- S. Diallo, ISRA / Zone Fleuve, CRA de Saint-Louis, B.P. 240 Sor Saint-Louis, Sénégal (*Oryza glaberrima*)
- O.T. Edje, Faculty of Agriculture, University of Swaziland, P.O. Luyengo, Luyengo, Swaziland (éditeur associé)
- M.A.B. Fakorede, Department of Plant Science, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria (*Zea mays*)
- K.E. Giller, Plant Production Systems, Department of Plant Sciences, Wageningen University, P.O. Box 430, 6700 AK Wageningen, Netherlands (*Glycine max*)
- S. Grando, ICARDA, P.O. Box 5466, Aleppo, Syria (*Hordeum vulgare*)
- G.J.H. Grubben, Boeckweijdt Consult, Prins Hendriklaan 24, 1401 AT Bussum, Netherlands (*Vigna unguiculata*)
- P.C.M. Jansen, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (*Coix lacryma-jobi, Fagopyrum esculentum, Lupinus albus, Vigna aconitifolia, Vigna adenantha, Vigna angularis, Vigna mungo*)
- M. Jarso, Ethiopian Agricultural Research Organization, Holetta Research Center, P.O. Box 2003, Addis Ababa, Ethiopia (*Pisum sativum, Vicia faba*)
- R.N. Kaume, P.O. Box 583–90200, Kitui, Kenya (*Panicum miliaceum*)
- G. Keneni, Ethiopian Agricultural Research Organization, Holetta Research Center, P.O. Box 2003, Addis Ababa, Ethiopia (*Pisum sativum, Vicia faba*)
- K.A. Kumar, Agriculture Environmental Renewal Canada Inc., 711 Schafer Road, P.O. Box 186, Delhi, ON N4B 2W9, Canada (*Pennisetum glaucum*)
- G.M. Legwaila, Botswana College of Agriculture, Private Bag 0027, Gaborone, Botswana (*Sorghum bicolor*)
- R.H.M.J. Lemmens, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (éditeur général)
- R. Madamba, Crop Breeding Institute, Department of Research & Specialist Services, Box CY 550, Causeway, Harare, Zimbabwe (*Vigna unguiculata*)
- H.C.C. Meertens, Pomona 250, 6708 CJ Wageningen, Netherlands (*Oryza sativa*)
- C.-M. Messiaen, Résidence La Guirlande, Bat. B3, 75, rue de Fontcarrade, 34070 Montpellier, France (*Pisum sativum*)
- K.K. Mogotsi, Botswana College of Agriculture, Private Bag 0027, Gaborone, Botswana (*Phaseolus acutifolius, Vigna radiata*)
- B.R. Ntare, ICRISAT, B.P. 320, Bamako, Mali (*Arachis hypogaea*)
- Achmad Satiri Nurhaman, Southeast Asian Regional Centre for Tropical Biology (SEAMEO BIOTROP), P.O. Box 17, Bogor, Indonesia (illustrations)

- L.P.A. Oyen, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (éditeur général)
- R. Rajerison, CNRE, B.P. 1739, Fiadanana, Antananarivo (101), Madagascar (*Vigna umbellata*)
- G.M. Ramolemana, Department of Crop Science and Production, Botswana College of Agriculture, Private Bag 0027, Gaborone, Botswana (*Vigna subterranea*)
- A.A. Seif, ICIPE, P.O. Box 30772, Nyago Stadium, Nairobi, Kenya (*Pisum sativum*)
- K.P. Sibuga, Department of Crop Science and Production, Sokoine University of Agriculture, P.O. Box 3005, Morogoro, Tanzania (*Vigna subterranea*)
- J.S. Siemonsma, PROTA Network Office Europe, Wageningen University, P.O. Box 341, 6700 AH Wageningen, Netherlands (éditeur de la traduction française)
- Iskak Syamsudin, Herbarium Bogoriense, Research Centre for Biology – LIPI, Jalan Ir. H. Juanda 22, Bogor 16122, Indonesia (illustrations)
- H. Tefera, Ethiopian Agricultural Research Organization, Debre Zeit Centre, P.O. Box 32, Debre Zeit, Ethiopia (*Eragrostis tef*)
- L.J.G. van der Maesen, Biosystematics Group, Wageningen University, Gen. Foulkesweg 37, 6703 BL Wageningen, Netherlands (*Cajanus cajan*, *Cicer arietinum*, *Tylosema esculentum*)
- S.R. Vodouhè, IPGRI West and Central Africa, 08 B.P. 0932, Cotonou, Benin (*Digitaria exilis*, *Macrotyloma geocarpum*)
- W. Wessel-Brand, Biosystematics Group, Wageningen University, Gen. Foulkesweg 37, 6703 BL Wageningen, Netherlands (illustrations)
- E. Westphal, Ritzema Bosweg 13, 6706 BB Wageningen, Netherlands (éditeur associé)
- C.S. Wortmann, University of Nebraska Lincoln, IANR, Department of Agronomy and Horticulture, 154 Keim Hall, Lincoln, NE 68583–0915, United States (*Phaseolus vulgaris*)
- S.S. Yadav, Division of Genetics, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi 110012, India (*Lathyrus sativus*)

Remerciements

- H. Corbière, 26 Avenue de Lodève, 34070 Montpellier, France (traduction française)
- G. Ferlin, Les cigales, Chemin de Bellevue, 83110 Sanary-sur-Mer, France (traduction française)
- P. IJdenberg, Agrooh, 34 Allée du Champ Tortu, 91190 Gif-sur-Yvette, France (traduction française)
- S. van Otterloo-Butler, Bowlespark 21, 6701 DR Wageningen, Netherlands (correction de la langue anglaise)
- N. Wulijarni-Soetjipto, PROSEA Network Office, P.O. Box 332, Bogor 16122, Indonesia (coordination des illustrateurs)

Conseil d'administration et Personnel de PROTA

Conseil d'administration

J.R. Cobbinah (FORIG, Ghana), président
M.J. Kropff (WU, Pays-Bas), vice-président
H. Andriamialison (PBZT, Madagascar)
P.R. Crane (RBGKEW, Royaume-Uni)
D. Garrity (ICRAF, Kenya)
L.S. Luboobi (MU, Ouganda)
Z.L.K. Magombo (NHBGM, Malawi)
G. Matheron (AGROPOLIS, France)
S. Mbadinga (CENAREST, Gabon)
M. Ouédraogo (CNSF, Burkina Faso)
E. Sukara (PROSEA, Indonésie)

Personnel

Bureau régional pour l'Afrique centrale, Gabon

S. Mbadinga, Chef de programme
B. Nziengui, Responsable régional
P.M. Nsole Biteghe, Responsable régional adjoint
D.N. Omokolo, Contact Cameroun
M.K.D. Ben-Bala, Contact Centrafrique

Bureau régional pour l'Afrique de l'Est, Ouganda

J.S. Kaboggoza, Chef de programme
R. Bukenya-Ziraba, Responsable régional
M. Atim, Responsable régional adjoint
A. Tsegaye, Contact Ethiopie
J. Elia, Contact Tanzanie

Bureau régional pour les îles de l'océan Indien, Madagascar

S. Rapanarivo, Chef de programme
M.E. Rahelivololana, Responsable régional
A. Gurib-Fakim, Contact Maurice
S. Brillant, Contact Réunion

Bureau régional pour l'Afrique australe, Malawi

Z.L.K. Magombo, Chef de programme
N.G. Nyirenda, Responsable régional
V.K. Kawanga, Contact Zambie

Bureau régional pour l'Afrique de l'Ouest (anglophone), Ghana

J.R. Cobbinah, Chef de programme
S. Britwum, Responsable régional
A. Armooh, Responsable régional adjoint
O.A. Denton, Contact Nigeria

Bureau régional pour l'Afrique de l'Ouest (francophone), Burkina Faso

M. Ouédraogo, Chef de programme
A. Traoré, Responsable régional
V. Millogo, Responsable régional adjoint
C. Kouamé, Contact Côte d'Ivoire
F. Assogba-Komlan, Contact Bénin

Bureau national pour la France

M. Chauvet, Chef de programme
W. Rodrigues, Responsable national

Bureau national pour le Royaume-Uni

S.D. Davis, Chef de programme
O. Grace, Responsable national

Bureau coordinateur du réseau africain, Kenya

E.A. Omino, Directeur
J. Chege, Gestionnaire base de données
D.J. Borus, Responsable valorisation
B.O. Obongoya, Responsable programmation
M.W. Kamanda, Secrétaire
D. Laur, Assistant de bureau

Bureau coordinateur du réseau européen, Pays-Bas

J.S. Siemonsma, Directeur
A.D. Bosch-Jonkers, Secrétaire/Assistant de gestion
R.H.M.J. Lemmens, Editeur général
L.P.A. Oyen, Editeur général
E.J. Bertrums, Gestionnaire banque de données
C.H. Bosch, Editeur/Responsable valorisation
M. Brink, Editeur
A. de Ruijter, Editeur
G.H. Schmelzer, Editeur/Responsable valorisation

Introduction

Choix des espèces

PROTA 1 : "Céréales et légumes secs" décrit les espèces de plantes cultivées et sauvages d'Afrique tropicale, qui sont utilisées comme céréale ou comme légume sec.
Les céréales peuvent être définies comme étant des graminées (famille des *Poaceae*) dont le grain sert à l'alimentation ; elles sont soit cultivées soit récoltées dans la nature ("céréales sauvages"). Trois espèces qui ne sont pas des graminées ("pseudo-céréales") ont été incluses dans ce volume : *Amaranthus caudatus* L. (amarante-grain), *Fagopyrum esculentum* Moench (sarrasin) et *Limeum obovatum* Vicary. Les légumes secs peuvent être définis comme étant des légumineuses (familles des *Papilionaceae, Caesalpiniaceae* et *Mimosaceae*, souvent considérées comme une seule famille appelée alors *Leguminosae*), qui produisent des graines mûres comestibles. Les légumes secs peuvent être cultivés ou récoltés dans la nature.
Certaines espèces ne sont utilisées qu'en tant que céréale ou légume sec, mais la plupart ont plusieurs usages. PROTA affecte un seul usage primaire et, si cela est pertinent, un ou plusieurs usages secondaires à toutes les espèces de plantes utilisées en Afrique. Le volume PROTA 1 : "Céréales et légumes secs" ne comprend que les articles de synthèse sur les espèces dont l'usage primaire est comme céréale ou légume sec. L'usage primaire du pois cajan (*Cajanus cajan* (L.) Millsp. étant celui d'un légume sec, il est donc traité dans PROTA 1, mais il a de nombreux usages secondaires, par ex. les pois et les gousses immatures sont consommées comme légume frais, les pois et les sous-produits de casserie s'emploient pour nourrir le bétail, les parties végétatives constituent un fourrage, les tiges sont utilisées pour confectionner des paniers, des toitures, des clôtures, et comme combustible, diverses parties de la plante entrent dans la production de médicaments traditionnels, et les plantes sont cultivées comme plante d'ombrage et de couverture, et pour les haies et les brise-vent. Le pois carré (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.) est également consommé comme légume sec, mais son usage primaire est la consommation de ses gousses immatures comme légume frais ; par conséquent, le pois carré est décrit dans le volume PROTA 2 : "Légumes".
Les espèces utilisées comme céréale ou légume sec en Afrique tropicale, mais qui ont un autre usage primaire, sont répertoriées après l'ensemble des articles de synthèse, et intégralement décrites dans d'autres groupes d'usage. Parmi les espèces importantes qui figurent sur cette liste, on peut citer le millet kodo (*Paspalum scrobiculatum* L.), le lablab (*Lablab purpureus* (L.) Sweet) et le pois carré (*Psophocarpus tetragonolobus* (L.) DC.).
Six espèces sont décrites qui ont deux usages primaires, dont l'usage comme céréale ou légume sec, et par conséquent seront incluses dans deux groupes d'usage. Il s'agit d'*Arachis hypogaea* L. (inclus aussi dans PROTA 14 : "Oléagineux"), *Glycine max* (L.) Merr. (inclus aussi dans PROTA 14 : "Oléagineux"), *Phaseolus vulgaris* L. (inclus aussi dans PROTA 2 : "Légumes"), *Pisum sativum* L. (inclus aussi dans PROTA 2 : "Légumes"), *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (inclus aussi dans PROTA 2 : "Légumes"), et *Sorghum bicolor* (L.) Moench (inclus aussi dans PROTA 3 : "Colorants et tanins").

Dans PROTA 1 : “Céréales et légumes secs”, des descriptions complètes sont données pour 35 espèces importantes (15 céréales, 19 légumes secs et 1 pseudo-céréale). Ces céréales et légumes secs principaux comprennent pour la plupart des espèces cultivées, mais également plusieurs espèces sauvages ou partiellement domestiquées. Les articles de synthèse sont présentés dans un format détaillé et illustrés d'un dessin au trait et d'une carte de répartition. En outre, des articles sur 38 espèces de moindre importance sont fournis (22 céréales, 14 légumes secs et 2 pseudo-céréales). Les informations concernant ces espèces étant souvent peu abondantes, ces articles sont présentés dans un format simplifié. Pour 9 autres espèces (5 céréales et 4 légumes secs), l'information était tellement limitée que des articles séparés n'étaient pas justifiés ; elles sont seulement mentionnées dans les articles sur les espèces apparentées.

Noms des plantes

Famille : à part les noms de famille classiques, le nom correspondant à la classification APG (Angiosperm Phylogeny Group) est également noté lorsqu'il diffère du nom classique.
Synonymes : seuls sont mentionnés les synonymes le plus communément utilisés et ceux qui risquent de prêter à confusion.
Noms vernaculaires : seuls sont inclus les noms utilisés dans les langues officielles d'importance régionale en Afrique, à savoir l'anglais, le français, le portugais et le swahili. Fournir des données approfondies sur les noms d'une espèce dans toutes les langues parlées dans sa zone de répartition dépasserait la portée de PROTA, car la simple vérification des noms demanderait aux spécialistes de longues recherches sur le terrain. Bien que certaines formes régionales d'arabe soient parlées dans plusieurs pays d'Afrique, le nombre d'espèces de plantes africaines possédant un nom en arabe classique écrit est limité. C'est pourquoi les noms arabes ont été omis. Quant aux noms des produits végétaux, ils sont mentionnés dans la section “Usages”.

Origine et répartition géographique

Pour éviter de longues listes de pays dans le texte, une carte de répartition a été ajoutée pour les principales espèces. Cette carte indique les pays dans lesquels une espèce a été répertoriée, soit à l'état sauvage, soit en culture. Toutefois, pour bon nombre d'espèces, ces cartes sont incomplètes parce qu'elles sont réalisées sur la base d'informations publiées dont la quantité et la qualité varient énormément d'une espèce à l'autre. Ceci est tout particulièrement vrai pour les espèces sauvages que ne couvrent pas, ou pas complètement, les flores régionales africaines, et pour les espèces cultivées uniquement à petite échelle (par ex. dans les jardins familiaux). Pour certains pays (comme la Centrafrique, le Tchad, le Soudan et l'Angola), il existe relativement peu d'informations dans la littérature. Parfois, ces pays ne sont pas consignés dans des flores régionales ou nationales récentes, et, même si certaines espèces y sont présentes, il est impossible de le prouver ou de le confirmer.

Propriétés

La valeur nutritionnelle des céréales et des légumes secs figure dans les articles de

synthèse sur les espèces. La méthode d'analyse utilisée pour déterminer les divers éléments de la composition nutritionnelle influe considérablement sur les valeurs trouvées. Pour cette raison, quelques sources standards ont été utilisées dans la mesure du possible, et elles sont mentionnées dans le texte. Il s'agit des suivantes : la "Nutrient database for standard reference" de l'USDA ; "The composition of foods" de McCance & Widdowson ; le "Food composition table for use in Africa" de la FAO. A part les nutriments, cette section inclut d'autres propriétés pertinentes aux usages respectifs.

Description

Une caractérisation morphologique des espèces est donnée. Cette description, rédigée en style télégraphique, fait usage des termes botaniques. Il n'est pas facile de fournir une description destinée au grand public, car les termes de la langue commune manquent souvent de la précision requise pour une description botanique. Un dessin au trait est ajouté pour toutes les espèces principales et quelques-unes moins connues, pour servir de complément à la description et l'illustrer.

Gestion

La description des méthodes culturales, comprenant l'application d'engrais, l'irrigation et les mesures de lutte contre les ravageurs et les maladies, est donnée dans les sections "Gestion" et "Maladies et ravageurs". Elles reflètent les pratiques actuelles ou des recommandations généralisées, et optent pour une vue d'ensemble, mais sans recommandations détaillées adaptées aux conditions locales extrêmement diversifiées que rencontrent les agriculteurs. Les recommandations concernant la lutte chimique contre les ravageurs et les maladies sont purement indicatives et les règlements locaux doivent avoir la priorité. PROTA participera à la réalisation de produits dérivés pour la vulgarisation et l'enseignement, basés sur les textes de ce volume, mais auxquels des informations locales spécifiques seront ajoutées.

Ressources génétiques

La diversité génétique de nombreuses espèces de plantes d'Afrique est en train de se réduire, parfois à une vitesse alarmante, à la suite de la destruction des milieux et de la surexploitation. Le remplacement des variétés locales d'espèces cultivées par des cultivars modernes commercialisés par des firmes semencières représente une autre cause d'érosion génétique. Un bilan est fait de la diversité intraspécifique et des menaces probables au niveau de l'espèce. Les informations sur les collections ex-situ de ressources génétiques sont extraites pour la plupart des publications de l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI).

Références

L'objectif principal de la liste de références donnée est de guider le lecteur vers des informations complémentaires, et elle ne prétend pas être exhaustive. Les auteurs et éditeurs ont sélectionné deux catégories de références. Le nombre de "références principales" est limité à 10 (seulement 5 pour les espèces secondaires), et celui des

“autres références” à 20 (seulement 10 pour les espèces secondaires). Les références figurant sur la liste incluent celles qui ont été utilisées lors de la rédaction de l’article de synthèse. Lorsque l’Internet a été utilisé, le site web et la date de consultation sont mentionnés.

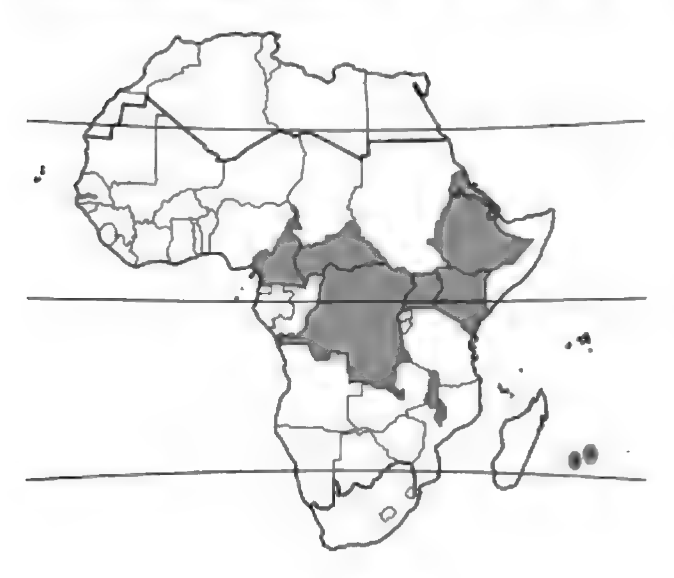
Les céréales et légumes secs, traités par ordre alphabétique des noms scientifiques

AMARANTHUS CAUDATUS L.

Protologue Sp. pl. 2: 990 (1753).
Famille Amaranthaceae
Nombre de chromosomes $2n = 32$
Noms vernaculaires

- Amarante-grain, blé des Incas (Fr). Grain amaranth, Inca wheat, jataco (En). Amaranto de cauda (Po).
- Brède malabar (Fr). African spinach, Indian spinach (En). Bredo (Po). Mchicha (Sw).
- Queue de renard, discipline des religieux (Fr). Love-lies-bleeding, red-hot cattail, foxtail (En). Cauda de raposa, moncos de peru (Po).

Origine et répartition géographique *Amaranthus caudatus* n'est pas connu à l'état sauvage. Il provient des Andes, et il est possible qu'il soit un hybride entre le taxon sauvage *Amaranthus hybridus* L. subsp. *quitensis* (Kunth) Costea & Carretero et le taxon cultivé *Amaranthus cruentus* L. (originaire d'Amérique centrale). *Amaranthus caudatus* est cultivé depuis très longtemps dans les Andes comme culture vivrière, par ex. par les Incas, et c'est dans cette région qu'on a la plus grande variabilité génétique (Equateur, Pérou, Bolivie et Argentine). Les restes archéologiques les plus anciens attestant de sa culture ont été trouvés au nord-ouest de l'Argentine dans des tombes vieilles de 2000 ans. En 1653, le chroniqueur Cobo écrit que dans la cité de Guamanga (l'actuelle Ayacucho) on faisait de délicieuses friandises avec de l'amarante et du sucre. *Amaranthus caudatus* a été introduit en Europe au XVI[e] siècle et s'est propagé par la suite en Afrique et en Asie. Si son aire de culture a considérablement diminué au cours des années, *Amaranthus caudatus* est resté une pseudo-céréale en Equateur, au Pérou, en Bolivie et en Argentine, et çà ou là en Asie et en Afrique. On le cultive comme plante ornementale presque partout dans les régions tropicales et dans certaines régions tempérées.



Amaranthus caudatus – planté

On ne connaît pas la répartition exacte d'*Amaranthus caudatus* en Afrique, parce qu'on l'a souvent confondu avec d'autres espèces d'*Amaranthus*. En Ethiopie et en Erythrée, on le cultive pour ses grains et comme plante ornementale ; sa culture, jadis pratiquée en Ouganda et au Kenya, a été observée dans plusieurs autres pays d'Afrique centrale, orientale et australe, ainsi qu'aux Mascareignes, où c'est une adventice subspontanée.

Usages On fait éclater les graines d'*Amaranthus caudatus* après les avoir fait griller, on les réduit en farine ou on les cuit à l'eau pour en faire de la bouillie. Pour confectionner des aliments levés, il faut mélanger les graines avec du blé. Fermentées, elles servent à confectionner des boissons alcoolisées, par ex. de la bière ("tella") en Ethiopie. En Ethiopie, on confectionne une bouillie avec les graines cuites ; les graines broyées sont mélangées avec du tef pour préparer une sorte de crêpe utilisée comme pain (l' "injera").

Les graines germées constituent un légume nutritif. Les feuilles se consomment en légume, comme celles d'autres espèces d'amarante, par ex. au Pérou et en Ethiopie. Les résidus de récoltes servent à l'alimentation du bétail et à la couverture des toits. En Amérique du Sud, les amarantes-grain s'emploient traditionnellement en médecine, dans les fêtes populaires et comme colorant. En Ethiopie, la racine est employée comme laxatif et la graine comme vermifuge pour l'expulsion du ténia, ainsi que pour traiter les maladies oculaires, la dysenterie amibienne et les douleurs mammaires. En Inde, la plante se prend comme diurétique et s'applique sur les plaies. *Amaranthus caudatus* se cultive partout comme plante ornementale (la "queue de renard").

Production et commerce international On ne dispose pas de statistiques de production ou de commerce sur l'amarante-grain en général, ni sur *Amaranthus caudatus* en particulier. Des documents des années 1990 font état de plusieurs milliers d'ha d'amarante-grain en Chine, de superficies de production équivalentes en Argentine, et d'environ 2000 ha aux Etats-Unis. Pour l'Inde et le Népal, ces chiffres vont jusqu'à 4000 ha. Au Pérou, ce sont plus de 1000 ha qui sont cultivés en amarante-grain

dans la seule région des hauts plateaux andins (principalement *Amaranthus caudatus*). Les Etats-Unis importent de grosses quantités d'amarante-grain du Mexique.

Propriétés La graine d'amarante-grain (espèce non indiquée) contient, par 100 g de partie comestible : eau 9,8 g, énergie 1565 kJ (374 kcal), protéines 14,5 g, lipides 6,5 g, glucides 66,2 g, fibres alimentaires 15,2 g, Ca 153 mg, Mg 266 mg, P 455 mg, Fe 7,6 mg, Zn 3,2 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,08 mg, riboflavine 0,21 mg, niacine 1,29 mg, vitamine B_6 0,22 mg, folates 49 µg et acide ascorbique 4,2 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 181 mg, lysine 747 mg, méthionine 226 mg, phénylalanine 542 mg, thréonine 558 mg, valine 679 mg, leucine 879 mg et isoleucine 582 mg. Les principaux acides gras (par 100 g de partie comestible) sont : acide linoléique 2834 mg, acide oléique 1433 mg, acide palmitique 1284 mg et acide stéarique 220 mg (USDA, 2004).
L'amarante-grain est renommée pour sa protéine qui est d'excellente qualité grâce à une teneur en lysine élevée. Il existe des types sans gluten, indiqués pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque. L'amidon, constitué principalement d'amylopectine, ne contient que 5–7% d'amylose. Les granules d'amidon, relativement petits (de 1–3 µm de diamètre), ont suscité beaucoup d'intérêt dans le cadre d'une exploitation industrielle de l'amarante-grain. L'huile contient entre 4–11% de squalène, un triterpénoïde qui pourrait trouver un créneau parmi des produits tels que les lubrifiants pour l'industrie informatique et en cosmétologie. Les tiges, les feuilles et les graines d'*Amaranthus caudatus* contiennent des pigments de bétacyanine rouge-violet solubles dans l'eau. Dans des extraits aqueux de la plante, ils sont constitués en moyenne de 81% d'amaranthine et de 19% d'isoamaranthine ; les extraits secs comportent 67% d'amaranthine et 33% d'isoamaranthine. Dissous dans l'eau, les pigments sont instables sauf à basse température dans l'obscurité et en l'absence d'air ; les pigments secs en revanche sont très stables à température ambiante. Les graines contiennent également des lectines de couleur rouge qu'on désigne aussi parfois sous le nom d'amaranthine. Deux peptides isolés à partir de la graine d'*Amaranthus caudatus* (Ac-AMP1 et Ac-AMP2) ont manifesté une forte activité antifongique et une certaine activité antibactérienne.

Description Plante herbacée annuelle érigée, atteignant 1,5(–2,5) m de haut, généralement totalement rougeâtre ou violacée ; tige assez trapue, non ou peu ramifiée, glabre ou finement recouverte de poils assez longs. Feuilles disposées en spirale, simples et entières ; stipules absentes ; pétiole atteignant 8 cm de long, mais jamais plus long que le limbe ; limbe largement ovale à rhomboïde-ovale ou ovale-elliptique, de 2,5–15(–20) cm × 1–8 cm, base cunéiforme à atténuée, apex obtus à aigu, glabre ou légèrement poilu au-dessous des nervures principales, pennatinervé. Inflorescence de grande taille (atteignant 1,5 m) et complexe, composée de nombreuses cymes agglomérées et disposées en épis terminaux et axillaires, l'épi terminal pendant à dressé ; bractées de 3–4 mm de long, membraneuses, pâles, à longue arête. Fleurs unisexuées, sessiles ; à 5 tépales mucronés de 2–3 mm de long ; fleurs mâles à 5 étamines d'environ 1 mm de long ; fleurs femelles à ovaire supère, 1-loculaire, surmonté de 3 stigmates. Fruit : capsule ovoïde-globuleuse de 1,5–2,5 mm de long, à déhiscence circulaire, presque lisse ou légèrement sillonnée, brusquement rétrécie en un bec court et épais, contenant 1 graine. Graines presque globuleuses, de 1–1,5 mm de long, lisses et brillantes, de couleur pâle (ivoire), rougeâtre ou brun foncé.



Amaranthus caudatus – 1, partie supérieure de la plante en fleurs ; 2, fruit ouvert.
Redessiné et adapté par Iskak Syamsudin

Autres données botaniques Le genre *Amaranthus* comprend environ 70 espèces, dont 40

sont originaires du continent américain. Il comprend au moins 17 espèces à feuilles comestibles et 3 amarantes-grain. *Amaranthus caudatus* fait partie de ce qu'on appelle l'agrégat *Amaranthus hybridus*, un groupe d'espèces pour lequel les problèmes taxinomiques sont loin d'être clarifiés, surtout du fait de la fréquence des hybridations et des erreurs de dénomination. Certaines espèces reconnues de cet agrégat sont des taxons cultivés. C'est le cas d'*Amaranthus caudatus* ainsi que des autres amarantes-grain *Amaranthus cruentus* L. et *Amaranthus hypochondriacus* L., qui sont traitées dans le volume PROTA 2 "Légumes". *Amaranthus caudatus* se distingue par son épi terminal généralement allongé et pendant, et les tépales relativement larges des fleurs femelles. Une classification en groupes de cultivars pourrait être plus appropriée pour ces taxons cultivés.
Amaranthus caudatus présente une importante variabilité génétique et une grande diversité dans le port de la plante, qui peut être érigé ou totalement décombant. Deux types ont été distingués : subsp. *caudatus*, le type principal, et subsp. *mantegazzianus* (Pass.) Hanelt, cultivé comme pseudo-céréale dans les vallées des Andes au nord-ouest de l'Argentine. Ce dernier se distingue par les rameaux de l'inflorescence, qui sont déterminés et en forme de massue, ce qui est dû à un seul gène récessif. Selon certains, il faudrait le considérer comme une espèce distincte, *Amaranthus mantegazzianus* Pass. ; cette opinion a récemment été confortée par les résultats d'études sur les protéines de la graine.

Croissance et développement La germination des graines d'*Amaranthus caudatus* s'accélère lorsque la température s'élève de 5 à 35°C ; aucune germination n'a lieu à 0°C. D'habitude, les plantules lèvent en 3–5 jours après le semis et la croissance initiale est lente. La floraison démarre 60–110 jours après la levée. Des taux d'allogamie de 6–29% ont été relevés chez *Amaranthus caudatus*. Au Pérou, la durée totale de la culture va de 3–4 mois à 1800 m d'altitude jusqu'à 9 mois à 3200 m d'altitude ; au Kenya, elle est généralement de 80–90 jours. Une seule plante peut produire plus de 50 000 graines. *Amaranthus caudatus* est une plante à photosynthèse en C_4, qui a de meilleurs rendements à des intensités lumineuses et des températures élevées, et qui assimile l'eau de manière efficace.

Ecologie Sous les tropiques, *Amaranthus caudatus* réussit bien dans un climat sec et frais d'altitude. Il tolère mieux le froid que les 2 autres amarantes-grain et il se cultive à des altitudes plus élevées. En Afrique de l'Est, il est présent à 500–2500 m d'altitude, en Amérique du Sud à 1000–3200 m. Au Pérou, il est cultivé dans des régions où la pluviométrie moyenne annuelle est de 550 mm. Sa réponse à la photopériode est marquée, des photopériodes brèves le poussant à fleurir.
Amaranthus caudatus peut se cultiver sur sols sableux et argileux. En général, l'amarante-grain préfère les sols bien drainés neutres ou alcalins (de pH > 6), mais certains types sont bien adaptés aux sols acides ou faiblement salins.

Multiplication et plantation *Amaranthus caudatus* se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 0,5–1.1 g. La scarification des graines avec de l'acide sulfurique concentré ou du papier de verre favorise la germination. Si au Pérou des densités de semis de 8–18 kg/ha sont la norme, au Kenya il est courant de ne pas semer plus de 1–2 kg/ha. Avec les cultivars améliorés au Pérou, des densités de 400 000–500 000 pieds/ha ont donné les rendements les plus élevés. Les plantules lèvent mieux lorsque la graine est enfouie à 1–1,5 cm, mais dans les régions sèches et chaudes, un semis plus profond peut être nécessaire. Mais la levée est considérablement moindre si la profondeur excède 5 cm.
Amaranthus caudatus se cultive aussi bien en culture pure qu'en association, par ex. avec du maïs, comme en Amérique du Sud et en Ethiopie. On le plante parfois en ligne de protection pour la culture principale, par ex. le haricot, le maïs ou le mil. En Ethiopie, on laisse parfois les plantes se ressemer tout seules.

Gestion Une fois établie, l'amarante-grain concurrence bien les mauvaises herbes, mais il faut quand même désherber au moins une fois au cours du premier mois. Le buttage, pratiqué lorsque les plantes font environ 30 cm, aide à lutter contre les adventices et à réduire la verse ; il permet aussi de lutter contre l'alternariose. Au Pérou, *Amaranthus caudatus* se cultive parfois avec un complément d'irrigation. Les résultats des essais de fertilisation ne sont pas concluants, et en général les amarantes-grain poussent bien avec des taux de nutriments très variables. Au Pérou, on applique habituellement du fumier.

Maladies et ravageurs Chez *Amaranthus caudatus*, on a observé des maladies fongiques provoquées par *Alternaria*, *Mycoplasma* et *Sclerotinia* spp. Les ravageurs dont les dégâts

ont un impact économique sur l'amarante-grain sont surtout des chenilles mangeuses de feuilles (*Heliothis*, *Hymenia*, *Spodoptera*), des punaises (par ex. *Lygus* sur l'inflorescence), des larves de charançon foreuses de tiges, des sauterelles et des pucerons.

Récolte La récolte d'*Amaranthus caudatus* est difficile en raison de sa maturation asynchrone. La plante peut se récolter en un seul passage en coupant les inflorescences lorsque les plantes sont encore vertes, pour éviter l'égrenage. Au Pérou, on coupe les plantes au niveau du sol à l'aide d'une faucille, on les met en bottes et on les laisse sécher au champ pendant 1–2 semaines. Dans les endroits arides sous irrigation, on peut induire la sénescence en arrêtant l'irrigation 2 semaines avant la récolte. Les feuilles peuvent se récolter une fois ou plus pour être consommées en légume avant que le grain ou la biomasse totale ne soient récoltés à maturité, comme aliment ou fourrage.

Rendements Très variables, les rendements de l'amarante-grain oscillent entre un minimum de 500–800 kg/ha et un maximum de 2500–4000 kg/ha. Au nord-ouest de l'Inde, où l'on cultive les 3 espèces d'amarante-grain, les rendements d'*Amaranthus caudatus* et d'*Amaranthus cruentus* sont plus faibles que ceux d'*Amaranthus hypochondriacus*.

Traitement après récolte Après séchage au champ, le battage s'effectue à la main ou à la machine, puis le grain est nettoyé. Pour assurer une meilleure conservation, un séchage supplémentaire destiné à abaisser la teneur en humidité à 12% peut être nécessaire.

Ressources génétiques De vastes collections de ressources génétiques d'*Amaranthus caudatus* sont conservées au Pérou (Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC/CICA), à Cusco, 1600 entrées ; à l'Universidad Nacional Agraria La Molina, à Lima, 333 entrées ; à l'Estación Experimental Agraria Baños del Inca, à Cajamarca, 257 entrées) et aux Etats-Unis (Organic Gardening and Farming Research Center, à Kutztown en Pennsylvanie, 297 entrées). La seule collection d'*Amaranthus caudatus* répertoriée en Afrique par l'IPGRI se trouve au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu, 4 entrées).

Sélection Les principaux objectifs d'amélioration pour *Amaranthus caudatus* et les autres amarantes-grain portent sur les caractères de récolte (verse et égrenage moindres, maturité plus uniforme), le renforcement de la vigueur des semis et de la résistance aux ravageurs, et l'accroissement des rendements. Au Pérou, la sélection dans les variétés locales a abouti à la mise sur le marché des cultivars d'*Amaranthus caudatus* 'Noel Vietmeyer', 'Oscar Blanco' et 'Alan Garcia'. Des travaux de génétique ont identifié des locus marqueurs pour des caractères comme les types de pigmentation, la morphologie de l'inflorescence et les caractéristiques des graines chez *Amaranthus caudatus* et les autres amarantes-grain. Des recherches s'imposent sur les barrières d'hybridation qui existent entre les espèces d'amarante-grain, ainsi que sur l'identité biosystématique des espèces ; ce n'est qu'ensuite que l'on sera en mesure d'affirmer que les données sont bien liées à une espèce.

Perspectives En Afrique tropicale, *Amaranthus caudatus* est actuellement cultivé à une échelle très restreinte et, comme les autres amarantes-grain, son avenir comme pseudocéréale n'est pas très prometteur parce qu'il est incapable de concurrencer les céréales, plus productives et plus faciles à cultiver. Sur le plan mondial, les amarantes-grain ne sont pas dépourvues de potentiel, en raison de leurs caractéristiques agronomiques favorables, leurs excellentes qualités nutritionnelles et leurs diverses applications alimentaires et techniques. Les amarantes auraient également des perspectives comme colorants alimentaires.

Références principales Agong & Ayiecho, 1991; Bale & Kauffman (Editors), 1992; Brenner et al., 2000; Costea, Sanders & Waines, 2001; Jain & Sutarno, 1996; National Research Council, 1984; National Research Council, 1989; Sauer, 1967; Townsend, 2000; Williams & Brenner, 1995.

Autres références Berghofer & Schoenlechner, 2002; Broekaert et al., 1992; Cai, Sun & Corke, 1998; Cai et al., 1998; Coons, 1982; CSIR, 1950; Drzewiecki, 2001; Getahun, 1976; Gutterman, Corbineau & Côme, 1992; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Hauman, 1951; Janick & Simon (Editors), 1990; Joshi, Mehra & Sharma, 1983; Paredes-López (Editor), 1994; Sauer, 1976; Stallknecht & Schulz-Schaeffer, 1993; Sun, Chen & Leung, 1999; Townsend, 1985; Townsend, 1994; USDA, 2004.

Sources de l'illustration Grubben, 1975.

Auteurs S.G. Agong

ARACHIS HYPOGAEA L.

Protologue Sp. pl. 2: 741 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 40$

Noms vernaculaires Arachide, cacahuète, cacahouète, pistache de terre (Fr). Groundnut, peanut, earthnut, monkey nut (En). Amendoim, mandobi, caranga (Po). Mjugu nyasa, mnjugu nyasa, karanga (Sw).

Origine et répartition géographique L'arachide est originaire du sud de la Bolivie et du nord-ouest de l'Argentine. C'est une ancienne espèce cultivée du Nouveau Monde, cultivée largement dans le Mexique, l'Amérique centrale et l'Amérique du Sud à l'époque précolombienne. L'arachide domestiquée avait déjà évolué en plusieurs types avant son introduction dans l'Ancien Monde par des explorateurs espagnols et portugais. Des types à deux graines originaires du Brésil ont été introduits en Afrique de l'Ouest, et des types à trois graines originaires du Pérou se sont diffusés de la côte ouest de l'Amérique du Sud vers les Philippines, d'où ils ont gagné le Japon, la Chine, l'Indonésie, la Malaisie, l'Inde, Madagascar et l'Afrique de l'Est. A la fin du XVIII[e] siècle, des types "Spanish" ont été introduits du Brésil en Europe. La première introduction réussie en Amérique du Nord a été celle d'un type prostré à petites graines, probablement originaire du nord du Brésil ou des Antilles. De nos jours, l'arachide est cultivée dans la plupart des pays tropicaux, subtropicaux et tempérés situés entre 40°N et 40°S. Produite dans toute l'Afrique tropicale, c'est une très importante culture de rente au Sénégal, en Gambie, au Nigeria et au Soudan.



Arachis hypogaea – planté

Usages Les graines d'arachide s'emploient essentiellement dans l'alimentation et pour l'extraction d'huile. Elles se consomment crues, cuites à l'eau ou grillées ; on en fait du beurre de cacahuète, des confiseries et des amuse-gueule, et elles servent à épaissir les soupes ou à confectionner des sauces qui accompagnent la viande et le riz. Au nord du Nigeria, la farine d'arachide, mélangée à du "gari" (farine grossière fermentée de manioc), sert à faire des boulettes qui se mangent sur le pouce. Aux Etats-Unis et en Argentine, la production est surtout destinée à l'alimentation directe, tandis que dans la plupart des autres pays, l'usage principal de l'arachide réside dans la commercialisation de l'huile. Au niveau mondial, plus de 50% de la production d'arachide est broyée pour produire de l'huile destinée à la consommation humaine ou à des usages industriels (par ex. en cosmétologie). Dans des pays comme le Sénégal, la Gambie et le Nigeria, pendant des années, l'extraction d'huile a constitué une occupation artisanale importante. L'emploi de l'arachide en confiserie et pour la production d'huile et de farine est en augmentation, mais l'usage de l'huile et de la farine est peu à peu délaissé au profit de la confiserie, en Amérique latine et aux Caraïbes notamment. En Amérique du Sud, on fait fermenter les graines pour en obtenir des boissons alcoolisées.

Le tourteau qui résulte de l'extraction d'huile constitue un aliment du bétail riche en protéines, mais on en fait aussi une farine utilisée dans de nombreux aliments destinés aux humains. Le tourteau fermenté se consomme frit en Indonésie. Il trouve une application industrielle dans la production de colles, d'apprêts pour le papier et d'amidons destinés à la blanchisserie et à la fabrication de textiles. La protéine du tourteau d'arachide est transformée en une fibre qui ressemble à la laine et qui peut être mélangée à la laine ou la rayonne. Les coques d'arachide apportent des fibres dans les aliments du bétail, et servent de combustible, d'engrais et de paillage ; on en fait des planches d'aggloméré et des briques, et elles peuvent fournir du charbon actif, des gaz combustibles, des substances chimiques organiques, de sucres réducteurs, de l'alcool et des résines de charge.

A l'état jeune, les gousses et les feuilles d'arachide se consomment en légume ; en Afrique de l'Ouest, on ajoute les feuilles aux soupes. Le feuillage est un fourrage important, particulièrement au Sahel ; il peut se consom-

mer frais, en foin ou ensilé. Dans le sud de l'Inde, les fanes sont parfois utilisées comme engrais vert.

L'arachide a toutes sortes d'usages en médecine traditionnelle africaine. Des extraits de gousses se prennent comme galactagogue, et sous forme de gouttes dans l'œil pour traiter la conjonctivite. Des macérations de graines décortiquées se boivent pour traiter la blennorragie, tandis que les macérations de téguments sont employées contre la syphilis et que les macérations de téguments et de coques s'appliquent contre l'ophtalmie. Le jus des feuilles et des graines broyées s'administre en goutte dans l'oreille contre les écoulements auriculaires. Des macérations de feuilles se boivent comme diurétique. Des infusions de feuilles se boivent contre la stérilité féminine et en gouttes dans les yeux pour traiter les blessures oculaires et la cataracte. La cendre de plante mêlée à du sel s'applique sur les caries. De jeunes plantes et des extraits de gousses ont la réputation d'avoir des vertus aphrodisiaques. La plante sert également à soulager la toux et on lui prête des vertus émollientes et adoucissantes ; on en prend des émulsions pour traiter la pleurésie, l'entérite (y compris la colique), et la dysurie.

Les agglutinines (lectines) tirées des graines d'arachide servent souvent dans la recherche médicale pour procéder à des investigations histochimiques.

Production et commerce international

D'après les statistiques de la FAO, la moyenne de la production mondiale d'arachide en gousses en 1999–2003 avoisinait 34,4 millions de t/an sur 24,4 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Chine (14,0 millions de t/an en 1999–2003, sur 4,9 millions d'ha), l'Inde (6,1 millions de t/an sur 6,7 millions d'ha), le Nigeria (2,8 millions de t/an sur 2,7 millions d'ha), les Etats-Unis (1,7 million de t/an sur 0,5 million d'ha), l'Indonésie (1,3 million de t/an sur 0,7 million d'ha) et le Soudan (1,1 million de t/an sur 1,7 million d'ha). La production totale en Afrique subsaharienne était de 8,2 millions de t/an sur 9,5 millions d'ha.

La moyenne des exportations mondiales de graines d'arachide s'est chiffrée à 1,1 million de t/an en 1998–2002. Les principaux exportateurs étaient la Chine (321 000 t/an), l'Argentine (201 000 t/an) et les Etats-Unis (171 000 t/an). Les exportations de graines d'arachide provenant d'Afrique subsaharienne atteignaient 64 000 t/an, la Gambie étant l'exportateur principal (26 000 t/an). Quant aux gousses d'arachide, la moyenne mondiale des exportations en 1998–2002 n'était que de 176 000 t/an, la Chine étant l'exportateur principal (73 000 t/an). Les exportations de gousses d'arachide d'Afrique subsaharienne étaient négligeables.

Pour l'huile d'arachide, la production mondiale en 1999–2003 était de 5,1 millions de t/an. Les principaux producteurs étaient la Chine (2,0 millions de t/an), l'Inde (1,4 million de t/an), le Nigeria (480 000 t/an), le Sénégal (178 000 t/an) et le Soudan (162 000 t/an). La production en Afrique subsaharienne était de 1,2 million de t/an. La production mondiale de tourteau d'arachide en 1999–2003 était de 6,9 millions de t/an, venant principalement de Chine (2,6 millions de t/an), d'Inde (1,9 million de t/an) et du Nigeria (750 000 t/an). La production en Afrique subsaharienne était de 1,6 million de t/an.

La moyenne des exportations d'huile d'arachide en 1998–2002 s'est chiffrée à 271 000 t/an, les principaux exportateurs étant le Sénégal (83 000 t/an) et l'Argentine (69 000 t/an). Le volume total d'huile exporté par l'Afrique subsaharienne était de 114 000 t/an. Les principaux importateurs étaient la France (68 000 t/an), l'Italie (46 000 t/an) et les Etats-Unis (25 000 t/an). La moyenne des exportations de tourteau s'est chiffrée à 280 000 t/an. Les principaux exportateurs étaient le Sénégal (103 000 t/an), l'Argentine (51 000 t/an), l'Inde (43 000 t/an) et le Soudan (35 000 t/an). Les exportations totales de tourteau d'arachide d'Afrique subsaharienne étaient de 143 000 t/an. Les principaux importateurs étaient la France (129 000 t/an) et la Thaïlande (53 000 t/an).

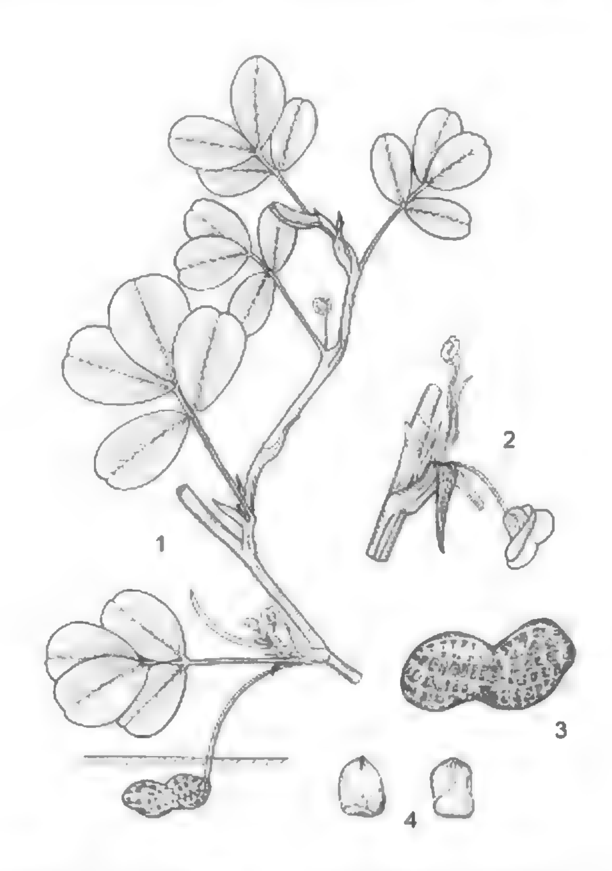
Propriétés Les graines mûres d'arachide contiennent, par 100 g de partie comestible (moyenne de plusieurs types, qui ne font apparaître que peu de différence) : eau 6,5 g, énergie 2374 kJ (567 kcal), protéines 25,8 g, lipides 49,2 g, glucides 16,1 g, fibres alimentaires 8,5 g, Ca 92 mg, Mg 168 mg, P 376 mg, Fe 4,6 mg, Zn 3,3 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,64 mg, riboflavine 0,14 mg, niacine 12,1 mg, vitamine B_6 0,35 mg, folates 240 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 250 mg, lysine 926 mg, méthionine 317 mg, phénylalanine 1337 mg, thréonine 883 mg, valine 1082 mg, leucine 1672 mg et isoleucine 907 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide oléique 23,7 g, acide linoléique 15,6 g et acide palmitique 5,2 g (USDA, 2004).

Les graines d'arachide donnent 42–56% d'huile. Cette huile contient 36–72% d'acide oléique,

13–48% d'acide linoléique et 6–20% d'acide palmitique. La proportion entre l'acide oléique et l'acide linoléique a une incidence importante sur la stabilité de l'huile ; plus cette proportion est élevée, plus l'huile est stable et plus longue est sa durée de conservation. Ce ratio peut varier de 1,0 à plus de 3,0 dans les graines mûres ; s'il est supérieur à 1,3, il est généralement considéré comme satisfaisant par les transformateurs. Le tourteau contient 40–50% de protéines facilement assimilables, 20–25% de glucides et 5–15% d'huile résiduelle.
Les gousses d'arachide ont une épaisse coque ligneuse et contiennent d'ordinaire 2–3 graines. Le tégument représente environ 4–5% du poids des graines, les cotylédons 90–94% et le germe 3–4%. Les composants principaux du tégument sont des glucides, de la cellulose et des protéines. L'huile et les protéines sont les principaux éléments constitutifs du germe et des cotylédons. Le germe est associé à des composants amers.
Un important problème de la production d'arachide est la contamination à l'aflatoxine par les champignons du genre *Aspergillus*. L'aflatoxine a des effets immunosuppresseurs et des travaux d'épidémiologie ont montré, en Afrique également, qu'il existe une corrélation positive entre l'absorption d'aflatoxine et les cas de cancer du foie. Après extraction industrielle de l'huile, l'aflatoxine subsiste dans le tourteau, et l'huile raffinée en est exempte ; mais dans le cas d'une extraction à petite échelle, l'huile non raffinée peut être contaminée. L'arachide fait partie des aliments les plus allergènes que l'on connaisse et il peut provoquer des réactions anaphylactiques. Les graines d'arachide contiennent un facteur hémostatique qui peut servir dans les cas d'hémophilie. L'huile est modérément laxative.

Falsifications et succédanés L'huile d'arachide peut être remplacée par d'autres huiles végétales, comme l'huile de maïs, de soja ou de tournesol.

Description Plante herbacée annuelle, à tige érigée ou prostrée atteignant 70 cm de long ; système racinaire constitué d'une racine pivotante bien développée à nombreuses racines latérales s'enfonçant jusqu'à 135 cm de profondeur, mais cantonnées généralement aux couches superficielles du sol. Feuilles disposées en spirale, 4-foliolées à deux paires de folioles opposées ; stipules de 1,5–4 cm de long, pourvues d'une mince extrémité libre, mais rattachées au pétiole sur la moitié de leur longueur ; pétiole de 1,5–7 cm de long ; pétiolules de 1–2



Arachis hypogaea – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, inflorescence ; 3, fruit ; 4, graines.
Source: PROSEA

mm de long ; folioles obovales ou elliptiques, de 1–7 cm × 0,5–3 cm, cunéiformes-arrondies à la base, arrondies ou émarginées et mucronées à l'apex. Inflorescence : épi axillaire, à 2–5 fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées, sessiles ; réceptacle long et mince, ayant l'apparence d'un pédicelle, atteignant 4 cm de long ; calice à 4 lobes supérieurs soudés, lobe inférieur libre ; corolle jaune pâle à rouge orangé, rarement blanche, étendard arrondi, d'environ 1,5 cm × 1,5 cm, ailes plus courtes, carène incurvée ; étamines (8–)10, tantôt à petites anthères globuleuses tantôt à anthères plus grosses et oblongues, soudées à la base ; ovaire supère mais situé à la base du tube du réceptacle, style libre à l'intérieur du tube, très long, terminé par un minuscule stigmate en massue. Fruit : gousse de 1–8 cm × 0,5–2 cm, oblongue ou en forme de saucisse, portée à l'extrémité d'un pédoncule allongé (carpophore) qui atteint 20 cm de long, à surface diversement étranglée entre les graines et à nervures réticulées, à 1–6 graines. Graines cylindriques à ovoïdes, de 1–2 cm × 0,5–1 cm, à extrémités pointues ou aplaties, enfermées dans un mince tégument papyracé dont la couleur va du blanc au violet foncé. Plantule à germination épigée ; cotylédons

épais et charnus.

Autres données botaniques Le genre *Arachis* comprend environ 70 espèces, toutes réparties en Amérique du Sud. Le centre d'origine d'*Arachis* est la région du Mato Grosso, au Brésil. *Arachis hypogaea* est de loin l'espèce la plus importante du genre sur le plan économique, mais plusieurs autres espèces ont été cultivées pour leurs graines, notamment *Arachis villosulicarpa* Hoehne et *Arachis stenosperma* Krapov. & W.C. Greg.

Des niveaux importants de résistance à de nombreuses maladies et ravageurs de l'arachide ont été trouvés chez d'autres espèces d'*Arachis*. Nombre de ces espèces sont étroitement apparentées à l'arachide ; parmi elles, on trouve les 26 espèces qui constituent la section *Arachis* avec *Arachis hypogaea*. Plusieurs espèces diploïdes ont été suggérées comme progéniteurs sauvages de l'arachide, mais des études moléculaires et cytogénétiques indiquent que *Arachis duranensis* Krapov. & W.C. Greg. et *Arachis ipaensis* Krapov. & W.C. Greg. sont les espèces les plus proches des progéniteurs de l'arachide domestiquée, qui est allotétraploïde. *Arachis monticola* Krapov. & Rigoni est la seule autre espèce tétraploïde de cette section ; très proche d'*Arachis hypogaea*, elle peut être la descendante directe de l'hybride originel entre les deux espèces de progéniteurs diploïdes.

Des hybrides entre *Arachis hypogaea* et d'autres *Arachis* ont été produits par hybridation directe, et en créant d'abord des autotétraploïdes ou des allotétraploides issus des espèces diploïdes, avant de réaliser les croisements. Les hybrides présentent des niveaux de stérilité élevés, dus à des différences dans les niveaux de ploïdie et à une incompatibilité des génomes.

Il existe une variabilité considérable chez *Arachis hypogaea*, et on a distingué deux sous-espèces : subsp. *hypogaea* et subsp. *fastigiata* Waldron. La subsp. *hypogaea* (type prostré) se caractérise par un port prostré, sans rameaux floraux sur la tige principale, et avec des rameaux latéraux cotylédonaires qui portent des paires alternées de rameaux secondaires végétatifs et floraux ; elle a habituellement un cycle long. Elle comprend les types d'arachide "Virginia". La subsp. *fastigiata* (type érigé) se caractérise par un port érigé avec des rameaux floraux sur la tige principale, et des rameaux végétatifs et floraux n'alternant pas régulièrement ; et elle a un cycle court. Elle comprend les types "Spanish" et "Valencia".

La plupart des cultivars d'arachide produits en Afrique de l'Ouest appartiennent à la subsp. *hypogaea* ; et la plupart de ceux que l'on trouve en Afrique de l'Est à la subsp. *fastigiata*. La subsp. *hypogaea* est surtout une arachide de bouche tandis que la subsp. *fastigiata*, qui a une plus forte teneur en huile, est surtout utilisée comme oléagineux.

Croissance et développement Les graines des types "Virginia" ont une dormance de 1–3 mois, alors que les types "Spanish" et "Valencia" ne sont pas dormants. La température optimale du sol pour la germination des graines est de 25–30°C. Les températures basses retardent la germination et le développement et augmentent le risque de maladies des semis. Lors de la germination, la racine primaire s'allonge rapidement, atteignant 10–12 cm avant que les racines latérales n'apparaissent. Au fur et à mesure de la croissance, la couche externe de la racine primaire se détache, ce qui empêche les poils racinaires de se former. La ramification est dimorphique, présentant des rameaux végétatifs et des rameaux floraux réduits. Des rameaux secondaires et tertiaires peuvent se développer à partir des rameaux végétatifs primaires. La floraison peut débuter dès 20 jours après le semis, mais le fait plus couramment à 30–40 jours. Le nombre de fleurs produites chaque jour diminue au fur et à mesure que les graines mûrissent. Jusqu'à 50% des embryons peuvent avorter même dans des conditions de milieu idéales, mais ce pourcentage s'élève nettement en période de sécheresse ou d'autres stress écologiques. Cependant, les plantes peuvent produire une seconde récolte de graines si elles disposent encore d'assez d'humidité. L'arachide est autogame, mais il peut y avoir des allofécondations lorsque les abeilles pollinisent les fleurs. Si l'arachide produit généralement plus de fleurs en conditions de jours longs, son efficacité reproductive est meilleure par jours courts. Dans une inflorescence, les fleurs ne s'ouvrent qu'à raison d'une à la fois. Après l'anthèse, elles se flétrissent en moins de 24 heures. La fécondation intervient généralement dans les 6 heures qui suivent la pollinisation, lorsque la partie basale de l'ovaire commence à s'allonger pour former le carpophore. L'embryon amorce une phase de croissance jusqu'à atteindre un stade à 8–16 cellules. Il entre ensuite dans une période de quiescence au cours des 5–15 jours dont a besoin le carpophore pour pénétrer dans le sol. Une fois en terre, le carpophore cesse de s'allonger un ou deux jours après et l'embryon

reprend alors sa croissance. Chez les espèces sauvages d'*Arachis*, le carpophore peut continuer à croître jusqu'à atteindre une longueur de près de 2 m.
Les graines des cultivars du type "Spanish" mûrissent d'habitude en 90–120 jours après le semis, tandis que les cultivars du type "Virginia" mettent au moins 130 jours. Des gousses de même taille peuvent présenter des différences significatives en termes de maturité et de poids des graines.
D'habitude, la nodulation de l'arachide est réalisée efficacement avec des bactéries fixatrices d'azote *Bradyrhizobium*. Du fait de l'absence de poils racinaires, les bactéries infectent la racine par des fissures dans l'épiderme à proximité de poils multicellulaires situés à la base de la racine.

Ecologie La moyenne journalière optimale de températures pour la croissance de l'arachide est de 27–30°C ; la croissance s'arrête lorsque les températures tombent en dessous de 15°C. L'arachide est cultivée principalement dans les régions où la pluviométrie annuelle moyenne est de 500–1000 mm ; des précipitations de 500–600 mm, bien réparties sur toute la saison de croissance, permettent une production satisfaisante. Cependant, l'arachide est tolérante à la sécheresse et peut supporter un important manque d'eau, mais cela fait chuter son rendement. La maturation et la récolte exigent une période sans pluie. La phénologie de l'arachide est déterminée avant tout par les températures, qui lorsqu'elles sont fraîches retardent la floraison. En milieu contrôlé, on a démontré que la photopériode avait une influence sur la proportion de fleurs produisant des gousses et sur la distribution des assimilats entre les structures végétatives et reproductives (indice de récolte) chez certains cultivars. Des photopériodes longues (supérieures à 14 heures) augmentent généralement la croissance végétative tandis que les photopériodes courtes (inférieures à 10 heures) augmentent la croissance reproductive. L'arachide peut être cultivée jusqu'à 1500 m d'altitude.
Les meilleurs sols à arachide sont des limons sableux profonds (d'au moins 30–40 cm), friables, bien drainés, bien approvisionnés en calcium, ainsi qu'en matière organique mais en quantité modérée. Il importe de maintenir le pH à un niveau quasi neutre et le rapport Ca:K en dessous de 3.

Multiplication et plantation L'arachide se multiplie par graines, mais la multiplication végétative par bouturage est possible. Le poids de 1000 graines va de 150 à plus de 1300 g. Il est essentiel pour que la culture s'établisse correctement de semer des semences de haute qualité dans un lit de semis bien travaillé et bien humide. Les graines d'arachide s'enfouissent souvent à 4–7 cm de profondeur, à raison de 60–80 kg/ha. Les gousses destinées à produire des semences sont souvent décortiquées à la main 1–2 semaines avant le semis. On ne choisit que les gousses complètement mûres. Avant semis, on peut traiter les graines avec un fongicide pour prévenir les maladies des semis. En général, un semis précoce améliore les rendements et la qualité des graines. De plus, les cultures semées tôt courent moins de risques de souffrir de maladies telles que le virus de la rosette. Toutefois, la bonne date de semis dépend de la longueur du cycle du cultivar. Les types "Spanish", à petites graines, sont espacés de 60–75 cm entre les lignes et de 10 cm sur la ligne. Cela donne un peuplement optimal de 133 000–167 000 pieds à l'ha. Pour les types "Virginia", à grosses graines, l'espacement est de 75 cm entre les lignes et de 15 cm sur la ligne, ce qui donne un peuplement optimal de 89 000 pieds à l'ha. La culture de l'arachide peut être pratiquée à plat, ou sur billons comme c'est souvent le cas au Malawi. Sur billons, l'arachide tend à donner des rendements plus élevés, sans doute parce qu'il y a davantage de sol meuble, ce qui favorise le développement des gousses et facilite leur arrachage.
En Afrique tropicale, l'arachide se cultive seule ou en association entre des lignes de céréales telles que maïs, sorgho ou mil.

Gestion L'arachide ne concurrence pas bien les adventices, surtout au début de son développement. Il faut désherber à fond au cours des premiers 45 jours. Une fois que le carpophore commence à se développer, on pratique un minimum de buttage. A ce stade, les mauvaises herbes sont arrachées à la main. On peut avoir recours à des herbicides en pré- et post-levée pour éradiquer les adventices, mais pour la plupart des paysans d'Afrique ils sont trop coûteux. Dans les bons systèmes de rotation, l'arachide bénéficie de la fertilité résiduelle : en effet, on ne redonne en général pas d'engrais si on a semé sur une terre correctement cultivée et déjà traitée avec un engrais équilibré. Mais pour s'assurer que la culture s'établisse bien, qu'elle donne un rendement élevé et des graines de bonne qualité, il faut épandre un engrais contenant du Ca, comme du gypse ou du superphosphate simple. Le cal-

cium est absorbé directement par les gousses s'il y a suffisamment d'humidité dans le sol. Un déficit en Ca à l'endroit où elles se développent donne des gousses vides, surtout chez les cultivars du type "Virginia". L'arachide est habituellement une culture pluviale, mais au Soudan, elle se pratique sous irrigation.
De préférence, il faut éviter de cultiver l'arachide plus d'une fois sur le même terrain dans une période de trois ans pour limiter les dégâts causés par les maladies propagées par le sol, les nématodes et les adventices. Adaptée à toutes sortes de rotations, elle peut suivre n'importe quelle culture bien nettoyée, comme le maïs, le sorgho, le mil, le manioc, la patate douce ou le tournesol. Afin de réduire les cas de maladies et de ravageurs, l'arachide ne doit pas être semée après le coton ou le tabac. Elle réussit bien sur les terres vierges ou immédiatement à la suite d'une culture prairiale ou d'une espèce bien fertilisée comme le maïs.
L'intensité des soins qu'elle reçoit, extrêmement variable d'une région du monde à l'autre, dépend de son rendement économique ou du rôle que joue l'arachide dans le système agricole. Aux Etats-Unis, en Australie et dans certaines régions d'Amérique du Sud, l'arachide est une culture intensive pratiquée généralement avec beaucoup d'intrants mécaniques et chimiques. Dans de nombreux pays, l'arachide est une culture de rente destinée surtout à l'export.

Maladies et ravageurs L'arachide est sensible à un grand nombre de maladies, telles que la cercosporose précoce (*Cercospora arachidicola*), la cercosporose tardive (*Cercosporidium personatum*, synonyme : *Cercospora personata*), la rouille (*Puccinia arachidis*), la rosette de l'arachide (provoquée par un complexe de 3 agents : le virus de la rosette de l'arachide (GRV), le virus assisteur de la rosette de l'arachide (GRAV), et un ARN satellite) et la contamination à l'aflatoxine provoquée par les champignons *Aspergillus*. Les maladies foliaires de l'arachide figurent parmi les plus importants facteurs limitants du rendement en production arachidière. Les cercosporoses précoce et tardive combinées à la rouille peuvent entraîner des pertes de rendement atteignant 70% ; même lorsqu'on emploie des fongicides, il y a quand même des réductions significatives de rendement. Un traitement fongicide à l'apparition de la maladie constitue un moyen de lutte efficace contre ces deux cercosporoses. Un poudrage des feuilles au soufre, en début de matinée lorsqu'il y a encore de la rosée, serait efficace aussi bien contre la cercosporose précoce que la cercosporose tardive. On a aussi observé que le recours au soufre augmentait le maintien des feuilles sur la plante, augmentant ainsi la quantité de tiges feuillées disponibles pour l'alimentation du bétail. Parmi les pratiques culturales pour lutter contre les cercosporoses, on peut citer la rotation des cultures et le brûlage des résidus de culture. Des cultivars offrant une résistance partielle aux cercosporoses ont été mis au point. La rouille apparaît en général de façon sporadique et sans gravité, mais elle peut tout de même entraîner jusqu'à 40% de pertes lorsqu'une infestation se déclare. Les pratiques culturales et les mesures de lutte fongicide conseillées pour les cercosporoses s'appliquent aussi à la rouille. Des cultivars résistants sont disponibles. Le virus de la rosette, transmise par le puceron *Aphis craccivora*, est endémique de l'Afrique subsaharienne et très répandu au Ghana, au Nigeria, au Malawi et en Zambie. C'est la maladie la plus destructrice de l'arachide, puisqu'elle conduit à des pertes de rendement de 30–100%. Un semis précoce à densité de plantation élevée empêche la propagation de la rosette en procurant au sol un couvert végétal complet le plus tôt possible, ce qui limite le déplacement des pucerons. On cultive couramment des cultivars résistants à la rosette en Afrique. Au Malawi, une pratique courante des paysans est d'intercaler l'arachide et le niébé pour lutter contre la rosette. Les champignons *Aspergillus* peuvent envahir les gousses et les graines d'arachide et produire les substances toxiques connues sous le nom d'aflatoxines. Le produit contaminé, parfois toxique pour les humains et le bétail, ne peut être exporté. La contamination à l'aflatoxine affecte aussi les semences, et entraîne un faible taux de germination et un médiocre établissement des semis. Elle peut se produire avant la récolte, lors du séchage au champ et en séchoir, ainsi que lors du stockage. La contamination avant récolte peut être très importante en cas de sécheresse. La contamination après récolte se produit si les gousses ou les graines s'humidifient ou s'abîment. On a recours à diverses méthodes pour combattre l'aflatoxine. Il s'agit notamment d'éviter que les outils endommagent les gousses ou les graines lors du désherbage, de la récolte et du stockage, de récolter dès que les gousses sont mûres, de procéder correctement au séchage au champ et au séchoir, et de conserver en coques à basse température à l'abri de l'humidité.
Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.)

peuvent quant à eux provoquer des pertes considérables de rendement chez l'arachide ; on peut lutter contre eux en pratiquant la rotation des cultures.

A l'échelle mondiale, les insectes ravageurs les plus importants sont notamment des pucerons (*Aphis craccivora*), des thrips (*Frankliniella* spp.), des cicadelles (*Empoasca dolichi* et *Hilda patruelis*), des vers blancs (larves de différents coléoptères) et des termites (surtout *Microtermes* sp.). Les ténébrions et les mille-pattes semblent moins fréquents. En général, les ravageurs du sol sont responsables de dégâts plus importants que les insectes suceurs ou phyllophages. Toutefois, les pucerons sont particulièrement nuisibles car ce sont eux qui transmettent le virus de la rosette. En Asie et en Afrique, les vers blancs, les termites, les mille-pattes, et les fourmis sont d'importants ravageurs ; aux Etats-Unis la petite pyrale du maïs (*Elasmopalpus lignosellus*) et la chrysomèle des racines du maïs (*Diabrotica undecimpunctata*) sont les principaux insectes ravageurs de l'arachide. Parmi les ravageurs qui s'attaquent aux gousses et aux graines stockées figurent des bruches (*Caryedon serratus*, *Callosobruchus* spp., *Acanthoscelides* spp.) et des vers de la farine (*Tribolium* spp.).

On a observé enfin que des plantes parasites (*Alectra vogelii* Benth. et *Striga* spp.) provoquaient des dégâts à l'arachide dans différents pays africains.

Récolte Le modèle de floraison indéterminé de l'arachide rend difficile la prévision de la date de récolte, pourtant d'autant plus cruciale que le rendement et la qualité en dépendent. Une récolte effectuée au bon moment garantit qu'un maximum de gousses ait atteint le poids le plus élevé et évite qu'elles ne tombent. Il existe des méthodes pour déterminer le meilleur moment pour récolter l'arachide, mais certaines dépendent des conditions de milieu ou bien leur coût est prohibitif. A l'heure actuelle, seules les méthodes de l'écossage et du grattage de la gousse sont couramment utilisées pour déterminer la maturité de l'arachide. La méthode de l'écossage s'appuie sur des changements de couleur à l'intérieur de la paroi de la gousse (coque) qui surviennent au cours de la maturation de la gousse. Chez la plupart des cultivars, la surface interne de la paroi de la gousse, d'abord blanche, se couvre en grande partie de taches brunes ou noires. Au même moment, la couleur du tégument de la graine passe du blanc au rose foncé ou au marron. On prélève un échantillon de plantes et on ouvre les gousses. On détermine le pourcentage de gousses dont l'intérieur de la paroi est de couleur foncée. Il faut commencer à récolter lorsqu'on atteint 60–80%, mais les préconisations diffèrent. La méthode de l'écossage est employée partout parce qu'on peut la mettre en œuvre au champ sans manipuler davantage les gousses, qu'elle ne demande aucun outillage et qu'elle apporte une réponse immédiate. La méthode du grattage de la gousse, mise au point au début des années 1990, est aujourd'hui acceptée comme le moyen le plus fiable pour évaluer la maturité des types prostrés. Elle repose sur le fait que le mésocarpe de la cosse (zone située juste en dessous de la couche externe brun pâle de la cosse) passe successivement du blanc au jaune, puis à l'orange, au brun et au noir au cours de la maturation. Il faut disposer de référentiels de couleurs et d'un couteau de poche pour gratter la surface de la cosse.

Dans la plupart des pays africains, ainsi qu'en Asie, la récolte est effectuée manuellement. Aux Etats-Unis, la récolte se fait normalement à l'aide d'une machine qui soulève, secoue et retourne les plantes. Lorsqu'on récolte à la main, on dégage les plantes à la houe, on les arrache, puis on les retourne afin d'exposer les gousses au soleil pour faciliter leur séchage. Une fois sèches, on arrache les gousses des plantes. Avec les moissonneuses mécaniques, les plantes sont soulevées proprement du sol et déposées retournées en andains. Les gousses doivent rester en andains jusqu'à ce que l'humidité soit de 18–24% en moyenne. Elles sont ensuite ramassées à l'aide d'une moissonneuse-batteuse. Les précipitations pendant l'andainage peuvent favoriser le développement de moisissures qui réduisent la qualité des graines pour la transformation.

Rendements En Afrique tropicale, le rendement moyen en gousses d'arachide au début des années 2000 avoisinait les 850 kg/ha, chiffre à peine supérieur à la moyenne de rendement des années 1970 (730 kg/ha). La moyenne des rendements en gousses dans les pays d'Afrique tropicale va de 300–1000 kg/ha. La moyenne mondiale quant à elle a augmenté, passant de 0,9 t/ha de gousses dans les années 1970 à 1,4 t/ha au début des années 2000. Avec de bonnes pratiques culturales et des moyens de lutte appropriés contre les maladies, on peut arriver à des rendements atteignant 5 t/ha. En moyenne, 100 kg de gousses produisent 70 kg de graines, contenant 35 kg d'huile.

Traitement après récolte La qualité du

produit est étroitement liée à la date et à la méthode de récolte ainsi qu'au séchage ; chaque étape est décisive pour obtenir cette qualité ou la maintenir. On fait sécher les gousses d'arachide jusqu'à ce qu'elles ne contiennent plus que 10% d'humidité environ. Se débarrasser des impuretés tôt aide à maintenir la qualité au cours du stockage. Du matériel de nettoyage destiné à l'élimination de ces impuretés a été mis au point, et fait appel à des cribles ou des grilles à bande.

Le stockage des gousses se fait au grenier, en bidons, en bacs, en silos de béton, dans des entrepôts ou à l'air libre. Lors du stockage, la ventilation est déterminante pour empêcher l'accumulation d'humidité susceptible de favoriser le développement de moisissures et la production d'aflatoxine. Les excès de chaleur doivent être évités. Les sites de stockage doivent être fréquemment inspectés pour vérifier qu'il n'y a pas d'humidité ou d'insectes, ceux-ci pouvant entraîner une forte baisse de la qualité. Les graines peuvent être protégées des dégâts mécaniques en les conservant et en les transportant en gousses. Dans de nombreuses régions, l'arachide n'est décortiquée que lorsqu'elle est sur le point d'être utilisée ou vendue ; sur les marchés locaux, ce sont surtout des gousses entières qui sont proposées à la vente. Le décorticage mécanique et le décorticage manuel sont aussi courants l'un que l'autre.

Depuis le lieu de stockage, les arachides sont transportées à des centres de décorticage où les gousses sont calibrées, nettoyées et décortiquées, puis les graines sont séparées selon leur calibre commercial. Le décorticage peut endommager les graines. 100 kg de gousses produisent 60–80 kg de graines. La plupart du temps, les graines d'arachide se conservent un an à 1–5°C et à 50–70% d'humidité relative sans perte de qualité. Elles ont tendance à absorber les gaz et les goûts étrangers, ce qui est à éviter.

L'extraction d'huile se fait par pression-extraction, par pression hydraulique, par extraction par solvant, ou une combinaison de ces méthodes. Mais c'est la pression-extraction qui est la plus courante.

Ressources génétiques L'Institut international de recherche sur les plantes cultivées des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) de Patancheru, en Inde, détient la collection la plus importante de types d'arachide, avec plus de 15 000 entrées, qui diffèrent par leur nombreux caractères végétatifs, reproductifs, physiologiques et biochimiques, dont la réaction aux stress biotiques et abiotiques. Un double de cette collection est maintenu dans une banque de gènes régionale à Niamey, au Niger. D'autres grandes collections de ressources génétiques d'arachide sont détenues aux Etats-Unis (Southern Regional Plant Introduction Station, à Griffin, en Géorgie, 9000 entrées), en Inde (National Research Centre for Groundnut (NRCG), Junagadh, 8000 entrées) et en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), Pékin, 5400 entrées ; Institute of Oil Crops Research, de Wuhan, 5700 entrées). En Afrique tropicale, d'importantes collections de ressources génétiques sont détenues au Sénégal (Centre national de recherche agronomique de Bambey, 900 entrées), en Ouganda (Serere Agricultural and Animal Production Research Institute, Serere, 900 entrées) et au Malawi (Plant Genetic Resources Centre, Chitedze Agricultural Research Station, à Lilongwe, 500 entrées). L'ARC Grain Crops Institute de Potchefstroom, en Afrique du Sud, a une collection de 850 entrées. Les collections réduites ("core collections") qui ont été mises en place sont utiles pour mettre au point des modèles destinés à l'acquisition future de ressources génétiques et à l'évaluation de la résistance aux maladies. Des prospections supplémentaires sont nécessaires pour la plupart des régions de production arachidière, dont les variétés locales se voient rapidement remplacées par des cultivars modernes.

Sélection Les travaux d'amélioration de l'arachide ont beaucoup augmenté lorsque le programme de l'ICRISAT a été instauré en 1976. Diverses populations de sélection sont en cours d'expérimentation dans des programmes régionaux d'Afrique subsaharienne et d'Asie. La plupart de ces programmes sont menés par des instituts publics. Les objectifs d'amélioration de l'arachide ont porté surtout sur son adaptation aux marchés régionaux et aux systèmes de production. Tous les programmes visent à améliorer la productivité de l'espèce et sa résistance aux maladies. Les travaux entrepris à grande échelle pour évaluer les ressources génétiques des *Arachis* sauvages ont abouti à l'identification de sources de résistance utiles à de nombreuses maladies. Il y a eu récemment des initiatives destinées à améliorer le goût et la qualité de la graine. Les travaux de sélection pour la résistance à la contamination à l'aflatoxine ont fait l'objet d'une attention accrue, et la sélection de cultivars à cycle court et résistants à la sécheresse a la priorité dans de nom-

breux programmes. Les méthodes courantes d'amélioration de l'arachide sont la sélection généalogique normale ou différée et la filiation monograine. L'amélioration par rétrocroisement n'a pas été beaucoup utilisée étant donné que la plupart des caractères de l'arachide d'importance économique sont hérités de façon quantitative. Parmi les principales contraintes qui s'opposent à une amélioration génétique rapide, citons : le lien étroit entre les gènes de résistance aux maladies et les locus conférant aux gousses et aux graines des caractéristiques indésirables ; le cycle plus long, la moindre allocation des assimilats aux graines et la sensibilité à la photopériode plus élevée du matériel génétique résistant aux maladies par rapport au matériel d'élite d'un point de vue agronomique, qui sont sensibles aux maladies ; les fortes interactions génotype × environnement pour les caractères d'importance économique ; et l'introgression limitée des gènes des espèces sauvages d'*Arachis* vers l'arachide cultivée.

Des cartes de liaison génétique de l'arachide ont été dressées à l'aide de divers marqueurs, mais le niveau de saturation est insuffisant pour procéder à une application de routine en sélection moléculaire. Un système efficace de culture de tissus et de transformation de l'arachide a été mis au point et des plantes transgéniques ont été produites à l'aide de méthodes biolistiques et au moyen d'*Agrobacterium*.

Perspectives L'arachide reste une espèce cultivée extrêmement utile, puisqu'elle procure aussi bien des aliments, de l'huile et des aliments du bétail que du combustible pour la maison, et qu'elle constitue également une ressource complémentaire de revenus en tant que culture de rente. Mais les faibles rendements et la sensibilité de l'arachide aux maladies posent de gros problèmes à sa culture en Afrique tropicale. De nombreux cultivars restent sensibles aux cercosporoses précoce et tardive et à la rouille, la résistance semblant être liée à un cycle long et à des caractéristiques indésirables de la gousse et de la graine. Le développement de cultivars à haut rendement dotés de résistance aux maladies (en particulier les cercosporoses et la rouille) et d'une adaptation aux systèmes de production africains reste par conséquent le grand défi à relever par les sélectionneurs. L'utilisation des marqueurs ADN pourra leur permettre d'associer la résistance aux stress biotiques et abiotiques à une productivité accrue et une meilleure qualité des graines. Le recours aux outils de la biotechnologie va s'intensifier pour effectuer la caractérisation à grande échelle des ressources génétiques et venir à bout de certaines des contraintes qui pèsent sur la production de l'arachide (comme les problèmes de maladies).

Références principales Dwivedi et al., 2003; Knauft & Ozias-Akins, 1995; Knauft & Wynne, 1995; Kokalis-Burelle et al. (Editors), 1997; Krapovickas & Gregory, 1994; Melouk & Shokes (Editors), 1995; Shorter & Patanothai, 1989; Smartt (Editor), 1994; Stalker, 1997; Wynne, Beute & Nigam, 1991.

Autres références Burkill, 1995; Clavel, 2002; Clavel & Gautreau, 1997; de Waele & Swanevelder, 2001; Gillett et al., 1971; ILDIS, 2005; Isleib & Wynne, 1992; Kochert et al., 1996; Lynch & Mack, 1995; McDonald et al., 1998; Neuwinger, 2000; Norden, Smith & Gorbet, 1982; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Purseglove, 1968; Sherwood et al., 1995; Singh, 1995; Singh & Nigam, 1997; Steinman, 1996; USDA, 2004; Wynne & Gregory, 1981.

Sources de l'illustration Shorter & Patanothai, 1989.

Auteurs B.R. Ntare

AVENA ABYSSINICA Hochst.

Protologue Schimp. iter Abyss. sectio III No 1877 (1844).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 28$

Noms vernaculaires Avoine d'Abyssinie (Fr). Ethiopian oat, Abyssinian oat (En).

Origine et répartition géographique *Avena abyssinica* provient probablement d'*Avena barbata* Pott ex Link. Elle est indigène de l'Erythrée, de l'Ethiopie et du Yémen, et est cultivée pour ses grains dans le nord de l'Ethiopie. Elle a fait l'objet d'essais en Tanzanie et en Algérie comme culture céréalière.

Usages En Ethiopie, les grains d'*Avena abyssinica* sont mélangés à l'orge dans la production de l' "injera" (grande crêpe utilisée comme pain), d'une bière locale ("tella") et d'autres produits. Ils sont également consommés grillés en amuse-gueule ("kollo"). Le malt additionné d'*Avena abyssinica* a la réputation de produire une meilleure bière que le malt d'orge ou de blé purs.

Botanique Graminée annuelle érigée atteignant 1,5 m de haut. Feuilles alternes, simples ; gaine longue et lâche ; ligule aiguë, membraneuse ; limbe linéaire, plat, généralement glauque. Inflorescence : panicule terminale de 20–35 cm de long, lâche et ouverte,

branches légèrement rugueuses. Epillet à pédicelle mince, pendant, de 2–2,5 cm de long, à 2–3 fleurs, avec la fleur supérieure réduite ou atrophiée, ne s'égrenant pas ; glumes presque égales, étroitement elliptiques, brusquement acuminées, à plusieurs nervures ; lemme de 1,5–2 cm de long, lisse et glabre ou avec quelques poils hérissés près de l'insertion de l'arête ou près du bord, étroitement bifide, chaque lobe avec 1 nervure se terminant en une soie apicale de 1–3 mm de long, généralement aussi finement denté à la base de la soie, avec une arête mince, brusquement courbée, de 2,5–3 cm de long, naissant sur le dos de la lemme ; paléole presque aussi longue que la lemme, bifide, à 2 carènes, à poils épineux sur le dos ; étamines 3 ; ovaire supère, velu, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain).

Avena comprend environ 30 espèces, qui sont diploïdes ($2n$ = 14), tétraploïdes ($2n$ = 28) ou hexaploïdes ($2n$ = 42). *Avena abyssinica*, qui est tétraploïde, appartient à la section *Ethiopica*. Elle se distingue de l'avoine commune (*Avena sativa* L.) par la présence de deux soies à l'extrémité de la lemme. Elle s'hybride facilement avec l'adventice *Avena vaviloviana* (Malzev) Mordv., ce qui donne des complexes hybrides adventices qui s'égrènent facilement.

Ecologie *Avena abyssinica* est cultivée, mais c'est aussi une adventice des terres arables, notamment des champs d'orge et de blé. En Ethiopie, on la trouve à 1700–3000 m d'altitude. Des essais ont montré qu'*Avena abyssinica* est une plante de jours longs et que la vernalisation donne une floraison plus précoce.

Gestion *Avena abyssinica* est signalée comme parfois cultivée en Erythrée et en Ethiopie, mais on ignore dans quelle mesure c'est encore le cas. En tant qu'adventice de l'orge et du blé, elle est souvent tolérée et récoltée en même temps que la culture principale. *Avena abyssinica* est attaquée par la rouille couronnée (*Puccinia coronata* f.sp. *avenae*). Elle est aussi sensible à l'infestation par l'ergot (*Claviceps* spp.) ; la consommation de grains infectés a provoqué des flambées d'ergotisme en Ethiopie.

Ressources génétiques et sélection Les collections les plus importantes de ressources génétiques d'*Avena abyssinica* sont détenues aux Etats-Unis (USDA-ARS National Small Grains Germplasm Research Facility, Aberdeen, Idaho, 241 entrées), au Royaume-Uni (John Innes Centre, Department of Applied Genetics, Norwich, 65 entrées) ainsi qu'en Fédération de Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg, 53 entrées). En Afrique tropicale, on ne connaît aucune collection de ressources génétiques.

Perspectives *Avena abyssinica* est une plante semi-domestiquée en Ethiopie, où elle est incorporée à des mélanges pour la préparation d'aliments et de bière locale. Cependant, elle n'a pas gagné en importance et la place qu'elle occupe actuellement reste incertaine.

Références principales Baum, 1977; Fröman & Persson, 1974; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; National Research Council, 1996; Phillips, 1995.

Autres references Clayton, 1970; Engels, Hawkes & Worede (Editors), 1991; Harlan, 1989a; Harlan, 1989b; King, 1979; Martens & McKenzie, 1973; Sampson & Burrows, 1972; Welch (Editor), 1995.

Auteurs M. Brink

AVENA SATIVA L.

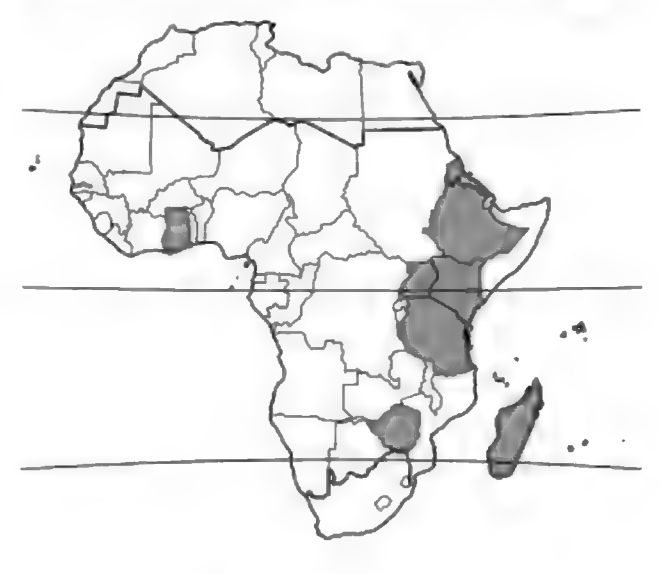
Protologue Sp. pl. 1: 79 (1753).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n$ = 42

Noms vernaculaires Avoine, avoine cultivée (Fr). Oat, oats, common oat (En). Aveia, aveia-amarela (Po).

Origine et répartition géographique *Avena sativa* est connue seulement à l'état cultivé et son origine exacte n'est pas clairement établie. L'avoine n'a pas été cultivée aussi tôt que le blé et l'orge et a probablement persisté comme adventice dans les champs de ces céréales pendant des siècles avant sa mise en culture. Des grains d'avoine ont été découverts en Egypte



Avena sativa – planté

dans des restes vieux de 4000 ans, mais il s'agissait probablement d'adventices et non d'avoine cultivée. Les restes d'avoine cultivée les plus anciens que l'on connaisse ont été découverts dans des grottes en Suisse ; ils remontent aux alentours de 1000 av. J.-C. *Avena sativa* a probablement évolué en Europe septentrionale ou centrale à partir d'une base génétique de l'espèce sauvage *Avena sterilis* L. provenant d'Asie du Sud-Ouest. De nos jours, l'avoine est largement cultivée dans les régions tempérées du nord, principalement en Europe et en Amérique du Nord. En Afrique tropicale, sa culture existe surtout en Ethiopie et au Kenya. Elle est également cultivée en Afrique du Sud, au Maroc, en Algérie et en Tunisie.

Usages L'avoine est utilisée en alimentation humaine et animale depuis l'antiquité. Le grain d'avoine rentre dans la composition de toutes sortes de produits alimentaires, comme des céréales de petit déjeuner, des bouillies, des biscuits sucrés ou salés, des pains, des petits pains et des amuse-gueules, des boissons, des protéines texturées et des aliments pour bébé. On considère le grain d'avoine comme une bonne source potentielle d'huile de table. En Ethiopie, l'avoine sert à confectionner l' "injera" (sorte de crêpe utilisée comme pain), la "tella" (bière locale) et d'autres produits. Dans les pays industrialisés, le grain d'avoine trouve surtout des applications dans l'alimentation animale, en particulier celle des chevaux, mais aussi des bovins, des ovins, des dindes et d'autres animaux. La plante verte constitue un bon fourrage ; elle procure un foin et un ensilage de bonne qualité, ou bien elle est pâturée directement par les animaux. La paille aussi est utilisée comme fourrage, par ex. en Ethiopie, où elle sert également de litière pour le bétail, de combustible et de matériau de couverture pour les toitures des maisons traditionnelles. Au Kenya aussi, l'avoine est utilisée en alimentation humaine et animale. Un champ ensemencé pour produire du grain peut être utilisé comme pâture si les pluies sont insuffisantes ; mais il arrive aussi que les champs soient pâturés pour différer la formation des grains.

En Australie, l'avoine se sème pour retenir le sable des dunes. Un volet important de l'exploitation industrielle est l'emploi de la balle d'avoine dans la production de furfural et d'autres composés de furane qui servent à produire des fongicides, des désinfectants et des conservateurs. Les produits de l'avoine trouvent également des débouchés en cosmétique comme substitut du talc et dans les produits de soin pour la peau. La farine d'avoine, qui a des propriétés antioxydantes, servait autrefois à conserver les aliments, mais aujourd'hui elle a été largement remplacée par des substances chimiques synthétiques.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production moyenne d'avoine-grain au niveau mondial en 1999–2003 s'élevait à près de 25,9 millions de t/an sur 12,7 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Fédération de Russie (5,8 millions de t/an en 1999–2003, sur 3,8 millions d'ha), le Canada (3,3 millions de t/an sur 1,4 million d'ha) et les Etats-Unis (2,0 millions de t/an sur 0,9 million d'ha). La production moyenne d'avoine en Afrique subsaharienne en 1998–2003 a été évaluée à 55 000 t/an sur 53 000 ha, presque entièrement en Ethiopie (50 000 t/an sur 49 000 ha) et au Kenya (3500 t/an sur 3400 ha), avec de petites quantités au Zimbabwe.

En raison du déclin de l'avoine dans l'alimentation animale, en partie dû à la mécanisation agricole et au rôle moindre des chevaux de labour, la production mondiale a connu une régression régulière, passant de 50 millions de t/an environ au début des années 1960 (sur près de 35 millions d'ha) aux alentours de 26 millions de t/an (sur environ 13 millions d'ha) au début des années 2000. Au cours de la même période, la production en Afrique subsaharienne augmentait de près de 20 000 t/an à environ 55 000 t/an.

La plus grande part de la production d'avoine est consommée sur place, seulement 2,5 millions de t/an entrant sur le marché international en 1998–2002. Le Canada (1,2 million de t/an), la Suède (450 000 t/an) et la Finlande (360 000 t/an) sont les plus gros exportateurs ; les Etats-Unis (1,7 million de t/an) sont le plus gros importateur. En Afrique tropicale, le commerce international d'avoine est insignifiant.

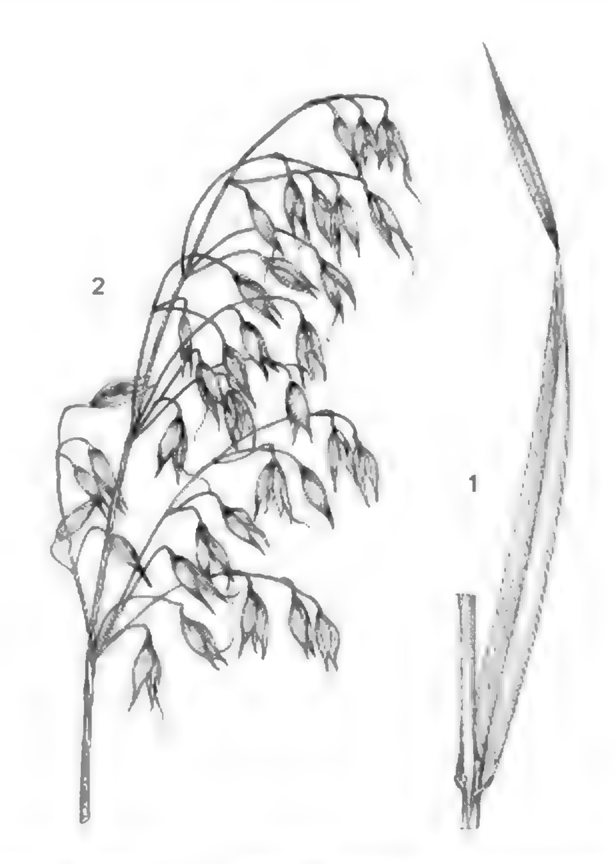
Propriétés La composition du grain entier d'avoine, par 100 g de partie comestible, est : eau 8,2 g, énergie 1628 kJ (389 kcal), protéines 16,9 g, lipides 6,9 g, glucides 66,3 g, fibres alimentaires 10,6 g, Ca 54 mg, Mg 177 mg, P 523 mg, Fe 4,7 mg, Zn 4,0 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,76 mg, riboflavine 0,14 mg, niacine 0,96 mg, vitamine B_6 0,12 mg, folates 56 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est de : tryptophane 234 mg, lysine 701 mg, méthionine 312 mg, phénylalanine 895

mg, thréonine 575 mg, valine 937 mg, leucine 1284 mg et isoleucine 694 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 2424 mg, acide oléique 2165 mg, acide palmitique 1034 mg et acide linolénique 111 mg (USDA, 2004). Comparée à d'autres céréales, l'avoine possède une forte teneur en protéines et un bon profil en acides aminés, à fort taux de lysine. La teneur en lipides elle aussi est plus élevée que celle des autres céréales, et leur proportion en acides gras insaturés est importante. Des teneurs en amidon de 43–61% ont été relevées. La teneur en amylose de l'amidon est de 11–34%. Les granules d'amidon ont une forme irrégulière à polygonale et leur diamètre moyen est de (3,8–)7,0–7,8(–10,5) µm.

Les fibres solubles présentes dans le son d'avoine ont la réputation de réduire le cholestérol dans le sang humain, grâce à la présence de β-glucane. L'avoine a montré une activité hypoglycémique ainsi que des effets bénéfiques sur les fonctions gastro-intestinales. Il semblerait que le son protège contre la carie dentaire. Parmi les substances qui contribuent aux propriétés antioxydantes de la farine d'avoine, on peut citer les glycéryl esters de l'acide hydroxycinnamique, de l'acide férulique et des acides caféiques. L'avoine semble être tolérée par la plupart des personnes atteintes de la maladie cœliaque, bien que des inquiétudes subsistent.

L'avoine en grains vêtus moulus est tout à fait acceptable pour les ruminants et les chevaux. L'avoine décortiquée et moulue est généralement donnée aux porcs et aux volailles. Le fourrage vert d'avoine, le foin et l'ensilage sont très appréciés des ruminants. D'après une étude kenyane, la teneur en protéines brutes des plantes entières d'avoine (sur la base de la matière sèche) diminue de 20,2% pour les plantes de 50 cm de haut à 8,1% en pleine floraison, tandis que la digestibilité des protéines in vitro passe de 84,9% à 46,7%. La teneur en fibres brutes augmente quant à elle de 23,3% à 28,1%, la teneur en glucides de 42,0% à 56,0%, mais la teneur en cendres baisse de 11,5% à 5,4%, ainsi que l'extrait à l'éther de 3,7% à 2,4%. Au Kenya, la paille contenait, sur la base de la matière sèche : 5,3% de protéines brutes, 38,0% de fibres brutes, 10,2% de cendres, 1,4% d'extrait à l'éther et 45,1% d'extrait sans azote.

Description Graminée annuelle érigée atteignant 2 m de haut, à système racinaire fibreux ; tiges (chaumes) solitaires ou en touffe, lisses ou scabres en dessous de l'inflorescence. Feuilles alternes, simples ; gaine longue et lâche, arrondie sur le dos ; ligule obtuse, membraneuse, de 3–5 mm de long ; limbe linéaire, aplati, de 10–45 cm × 0,3–1,5(–2) cm. Inflorescence : panicule terminale de 15–30(–40) cm de long, lâche et ouverte ou resserrée. Epillet à pédicelle mince, retombant, de 1,5–3,5 cm de long, habituellement à 2–3 fleurs, les fleurs supérieures réduites, ne s'égrenant pas ; glumes presque égales, étroitement elliptiques-oblongues, très aiguës, à plusieurs nervures ; lemme de 1–2,5 cm de long, plus ou moins tronquée ou finement 2–4-dentée, arête présente ou absente, glabre ou légèrement poilue autour de son point d'insertion ; paléole légèrement plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, villeux, à 2 stigmates latéraux saillants. Fruit : caryopse (grain), de 0,5–1 cm de long, étroit, à bords presque parallèles, poilu, sillonné longitudinalement sur la face, étroitement enserré par la lemme et la paléole.



Avena sativa – 1, partie d'une tige avec feuille ; 2, inflorescence.
Redessiné et adapté par Iskak Syamsudin

Autres données botaniques Le genre *Avena* comprend une trentaine d'espèces, qui sont diploïdes ($2n = 14$), tétraploïdes ($2n = 28$) ou hexaploïdes ($2n = 42$). Toutes les espèces hexaploïdes d'*Avena* appartiennent à la section *Avena*. Les hexaploïdes *Avena sativa*, *Avena byzantina* C. Koch (avoine rouge), *Avena fatua*

L. et *Avena sterilis* L. sont interfertiles. *Avena byzantina* s'apparente étroitement à *Avena sativa* et il est possible qu'elle soit dérivée de cette dernière par sélection. Certains auteurs incluent *Avena byzantina* dans *Avena sativa*. *Avena byzantina* est cultivée principalement dans le sud de l'Europe. En Afrique tropicale, elle a été cultivée à titre expérimental au Kenya, et en Tanzanie elle a été signalée comme adventice. Elle s'est naturalisée en Afrique du Sud, où on la trouve dans les milieux perturbés et aux bords des routes. *Avena fatua* et *Avena sterilis* sont d'importantes adventices des céréales, par ex. en Europe, en Ethiopie et au Kenya ; elles se distinguent d'*Avena sativa* par leurs épillets qui s'égrènent et par leurs lemmes poilues. La tétraploïde *Avena abyssinica* Hochst. se distingue d'*Avena sativa* par deux soies à l'extrémité de la lemme.

Avena sativa est variable, ce qui se reflète dans les classifications infraspécifiques élaborées, essentiellement basées sur les caractéristiques de l'inflorescence et de la lemme.

Croissance et développement Les graines d'avoine commencent à germer 7 jours après le semis. Les plants commencent à taller 35–45 jours après le semis. Chaque tige produit jusqu'à 12 feuilles. La période qui sépare le semis de la floraison dépend de la date de semis ; par ex. au nord-ouest de l'Europe, elle est de 100 jours pour les cultures de printemps et va jusqu'à 270 jours pour celles d'automne. L'avoine est essentiellement autogame, avec au plus 1% d'allogamie. La durée entre la floraison et la récolte est d'environ 60 jours au nord-ouest de l'Europe. La durée totale de la culture est de 3–6 mois en Ethiopie et au Kenya et de 6–11 mois dans les régions tempérées. Les graines dispersées restent viables dans le sol pendant longtemps, ce qui peut provoquer leur apparition sous forme de mauvaises herbes dans les cultures suivantes.

Ecologie L'avoine se cultive surtout sous les climats frais et humides des régions froides tempérées ; c'est principalement une culture de printemps et dans une certaine mesure, d'automne. En Afrique tropicale, elle est cultivée surtout en altitude moyenne à élevée (entre 1600–3000 m), dans des régions où la pluviométrie annuelle est supérieure à 800 mm et où les températures de l'air minimales et maximales sont de 6°C et de 24°C, respectivement. En Ethiopie, la culture se pratique d'habitude à 2700–3000 m d'altitude. L'avoine n'est pas aussi sensible au gel que le blé. Lorsque l'humidité ne constitue pas un facteur limitant, elle réussit aussi très bien dans des environnements tropicaux humides plus chauds de moyenne altitude. L'avoine nécessite davantage d'eau que n'importe quelle autre céréale, hormis le riz. C'est généralement une plante quantitative de jours longs, mais il existe des différences de sensibilité à la photopériode parmi les cultivars ; ceux d'Europe du Nord y répondent de façon particulièrement forte. On a également noté des réponses à la vernalisation.

L'avoine pousse bien sur toutes sortes de types de sols, à condition que le drainage soit suffisant. Elle pousse sur des sols sableux, à fertilité faible, ou très acides (pH jusqu'à 4,5), mais c'est sur les sols limoneux bien drainés et fertiles qu'elle réussit le mieux.

Multiplication et plantation L'avoine est multipliée par graines. Le poids de 1000 graines est de 22–37 g. Des semences vieilles de 2–3 mois ont normalement un taux de germination supérieur à 85%. Des semences d'avoine conservées dans les conditions froides naturelles des hautes terres d'Ethiopie ont encore germé au bout de 15 années de stockage. Dans les conditions tropicales des hautes terres, les graines se sèment soit à la volée, soit en lignes (espacés de 15–20 cm), aux quantités recommandées de 60–120 kg/ha ; les quantités les plus faibles s'appliquant aux cultures en lignes et à celles destinées à la production de grain. Au Kenya, l'avoine se sème habituellement au semoir à blé en lignes, espacées de 20–25 cm, à une densité de semis de 60–80 kg/ha. Dans les tropiques de haute altitude, cette céréale se sème d'habitude au début de la saison des pluies. Lorsqu'elle est produite pour le fourrage, l'avoine est parfois cultivée en mélange avec des vesces (*Vicia* spp.) ou des pois (*Pisum sativum* L.).

Gestion La croissance vigoureuse des plants d'avoine ainsi que la sécrétion de substances allélopathiques réduisent la croissance des mauvaises herbes. Le désherbage manuel (généralement en une seule fois) et l'application d'herbicides anti-dicotylédones tel que le 2,4-D peuvent être effectués pour lutter contre les adventices. En Ethiopie, les paysans ne désherbent pas leurs champs d'avoine. Les champs d'avoine sont rarement fertilisés en Afrique tropicale, bien que la plante réagisse bien à une application de NPK. Sur les hautes terres éthiopiennes, on recommande généralement d'épandre 18–23 kg de N et 20–30 kg de P par ha lors du semis, et 35–46 kg de N par ha en fumure de surface au moment du tallage. L'avoine se cultive en rotation avec de l'orge,

du blé, des fèves, des pois et parfois avec une jachère ou un engrais vert. Des substances allélopathiques peuvent gêner la croissance des cultures suivantes si ces dernières sont semées dans les 3 semaines qui suivent la moisson de l'avoine. Au Kenya, on peut faire pâturer l'avoine 1–2 fois par les animaux avant de la laisser mûrir comme céréale. Les autres possibilités sont de faire pâturer 2–4 fois le champ par saison, ou bien 2 pâturages suivis par une production de foin, ou encore 1–2 pâturages suivis d'une production de foin et d'un nouveau pâturage. L'avoine est bonne pour le pâturage 6–8 semaines après le semis.

Maladies et ravageurs La rouille couronnée (*Puccinia coronata* f.sp. *avenae*) et la rouille noire (*Puccinia graminis* f.sp. *avenae*) sont les principales maladies de l'avoine. Des fongicides systémiques tels que les triazoles et les morpholines sont efficaces pour lutter contre celles-ci, mais cela se justifie rarement au niveau économique. On recommande le recours à des cultivars résistants à la rouille. Parmi les autres maladies courantes de l'avoine, on citera la septoriose (*Septoria avenae*), le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV, qui fait rougir les feuilles), la graisse bactérienne (*Pseudomonas coronafaciens*), le charbon nu (*Ustilago avenae*) et le charbon couvert (*Ustilago hordei*).
Parmi les principaux ravageurs, on peut citer les sauterelles, les noctuelles et les vers gris. Différentes espèces de pucerons sont des vecteurs du BYDV. Aux stades plus tardifs de la maturité, les oiseaux et les rats sont des ravageurs importants. Les charançons (*Sitophilus granarius*) et certains autres coléoptères s'attaquent au grain d'avoine stocké.

Récolte En Afrique, l'avoine se récolte manuellement, à la faucille ou à la faux ; la récolte du fourrage se pratique d'habitude après l'épiaison, et la moisson de la céréale lorsque les grains sont au stade pâteux dur, généralement à la fin de la saison des pluies. On laisse la récolte au champ pour la faire sécher au soleil, avant de procéder au battage (pour le grain) ou à la mise en meule (pour le fourrage). Une moissonneuse-batteuse mécanisée peut être employée pour la moisson à grande échelle ou bien une faucheuse pour la récolte de fourrage. Lorsqu'on a besoin de paille d'avoine pour confectionner des toitures, on moissonne la panicule à la faucille pour récolter le grain, puis on coupe le chaume restant à la faux ou à la faucille au niveau du sol.

Rendements Le rendement mondial moyen d'avoine-grain est d'environ 2 t/ha, la paille donnant environ 5,5 t/ha. Comme le produit du battage est le grain vêtu, les enveloppes (lemme et paléole) représentent généralement entre 25–35% du poids total du grain. En Ethiopie et au Kenya, le rendement moyen en grain est d'environ 1 t/ha. Lorsque l'avoine est récoltée pour le fourrage vert, le foin ou l'ensilage, son rendement en matière sèche est de 4–15 t/ha.

Traitement après récolte Le grain d'avoine doit être séché jusqu'à un taux d'humidité de 12–14% avant son stockage, la température de stockage devant rester inférieure à 20°C. Dans les pays industrialisés, la transformation du grain d'avoine comprend souvent le nettoyage, le séchage (pour désactiver en partie les enzymes lipolytiques qui pourraient donner une flaveur rance), le décorticage, le concassage, l'étuvage (pour obtenir la désactivation complète des enzymes lipolytiques) et la production de flocons ou de farine. Le moyen le moins cher de conserver le fourrage d'avoine est d'en faire du foin. Dans les régions où il est difficile de produire du foin, l'avoine peut s'ensiler, soit seule soit mélangée à des légumineuses.

Ressources génétiques De vastes collections de ressources génétiques d'*Avena sativa* sont détenues aux Etats-Unis (National Small Grains Germplasm Research Facility, USDA-ARS, Aberdeen, Idaho, 10 000 entrées), en Fédération de Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg, 8800 entrées), au Canada (Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures de Sainte-Foy, à Québec, 7500 entrées) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu, 3700 entrées). Au total 656 entrées sont conservées à l'ICARDA (Syrie) et à l'ILRI (Ethiopie). Près de 835 entrées d'avoine (provenant principalement d'Europe, des Etats-Unis et d'Ethiopie) sont disponibles à l'EARO (Ethiopian Agricultural Research Organization) Holetta Research Centre d'Ethiopie. Au stockage, les graines d'avoine ont un comportement orthodoxe.

Sélection Les principaux objectifs visés par l'amélioration génétique de l'avoine sont l'amélioration des rendements en grain et en fourrage. Il est également important de développer des cultivars résistants aux maladies d'origine fongique et virale, en particulier la rouille couronnée et la rouille noire. On trouve des sources de résistance à la rouille couronnée chez les espèces sauvages d'*Avena*, surtout chez *Avena sterilis*. Les techniques modernes de sélection

ont permis d'obtenir des cultivars améliorés dotés de caractéristiques intéressantes, telles que la résistance aux maladies, un rendement élevé, des grains nus, un grain de grande taille et de couleur blanche, et des teneurs élevées en protéines et en huile. Des cartes de marqueurs moléculaires ont été dressées et un système de transformation génétique a été mis au point qui permet l'insertion de gènes étrangers dans l'avoine à l'aide du bombardement de particules. En Afrique tropicale, il existe des activités de sélection à petite échelle en Ethiopie et au Kenya, qui se concentrent surtout sur la résistance aux maladies et l'augmentation des rendements en fourrage et en grain. En Ethiopie et au Kenya, les paysans s'intéressent essentiellement aux cultivars à double fin.

Perspectives En raison de sa tolérance à une fertilité du sol médiocre et au gel, de ses faibles besoins en intrants achetés à l'extérieur comme les engrais, ainsi que du fait qu'elle est à double fin (alimentation et fourrage), l'avoine offre de bonnes perspectives dans les hautes terres d'Afrique tropicale, particulièrement pour les paysans sans ressources. A l'échelle mondiale, l'avoine offre également un potentiel dans l'industrie pharmaceutique et en cosmétologie.

Références principales Assefa et al., 2003; Baum, 1977; Boonman, 1993; Coffman (Editor), 1961; Coffman, 1977; McMullen, 2000; Phillips, 1995; Suttie, 2004; Thomas, 1995; Welch (Editor), 1995.

Autres références Clayton, 1970; Dougall, 1954; Feyissa, 2004; Frey, 1998; Fröman & Persson, 1974; Gebrehiwot, 1981; Gibbs Russell et al., 1990; Gibson & Benson, 2002; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Hoover et al., 2003; Jellen & Beard, 2000; Jutzi & Gryseels, 1984; Kassam et al., 1991; Mailu, 1997; Mulat & Damesa, 1996; Peltonen-Sainio, 1998; Rogerson, 1956; USDA, 2004; Wight et al., 2003; Zhou, Jellen & Murphy, 1999.

Sources de l'illustration Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Hegi, 1906.

Auteurs G. Assefa

BAUHINIA PETERSIANA Bolle

Protologue Peters, Naturw. Reise Mossambique 6(1) : 24 (1861).

Famille Caesalpiniaceae (Leguminosae - Caesalpinioideae)

Nombre de chromosomes $2n = 28$

Synonymes *Bauhinia macrantha* Oliv. (1871).

Noms vernaculaires Bauhinia blanc du Kalahari (Fr). Kalahari white bauhinia, wild coffee bean, coffee neat's foot, camel's foot (En). Chingando (Po).

Origine et répartition géographique On trouve *Bauhinia petersiana* dans le sud-est de la R.D. du Congo et en Tanzanie, ainsi que dans toute l'Afrique australe.

Usages On consomme la farine des graines écrasées de *Bauhinia petersiana*. Les graines sont également consommées comme fruits secs après avoir été grillées et passent pour un mets de choix dans certaines parties du Botswana. Une fois grillées et moulues, elles peuvent remplacer le café. Les graines immatures peuvent elles aussi être consommées. On mange les gousses grillées (en Namibie) ou bouillies (en Zambie). Au Botswana, on extrait des graines une huile utilisée localement. En R.D. du Congo, les fibres de l'écorce servent à fabriquer des cordages et les racines à obtenir une teinture. *Bauhinia petersiana* est largement brouté par le bétail. Au Zimbabwe, en Afrique du Sud et aux Etats-Unis, il est cultivé comme arbuste ornemental. Dans la plus grande partie de son aire de répartition, on fait bouillir les feuilles de *Bauhinia petersiana*, on inhale la vapeur puis on absorbe le liquide, une fois refroidi, pour soigner les toux sans gravité. Les Shonas du Zimbabwe boivent une infusion de racines en cas de dysménorrhée et de stérilité féminine. En Afrique du Sud, on fait bouillir les feuilles écrasées avec du sel et on applique le liquide chaud sur les plaies pour en favoriser la guérison. Une décoction de racines macérées permet de soigner la diarrhée.

Propriétés Les graines sèches de *Bauhinia petersiana* contiennent par 100 g : eau 6,8 g, énergie 1554 kJ (371 kcal), protéines 22,9 g, lipides 13,1 g, glucides 40,2 g, fibres 13,0 g, Ca 237 mg, P 317 mg, Fe 3,9 mg, thiamine 0,58 mg, riboflavine 0,2 mg et niacine 1,6 mg (Arnold, Wells & Wehmeyer, 1985). Les principaux acides gras présents dans l'huile des graines sont les acides linoléique (45%), oléique (26%), palmitique (16%) et stéarique (7%). Les racines et les feuilles contiennent des tanins.

Botanique Arbuste ou petit arbre atteignant 10 m de haut ; jeunes rameaux pubescents et à nombreuses petites glandes ou écailles orange, certaines ramilles enroulées à l'apex, ressemblant à des vrilles. Feuilles alternes, simples ; stipules de 3–5 mm × 1–2 mm, caduques ; pétiole de 0,5–3 cm de long ; limbe de 2–8 cm × 2–

10 cm, 2-lobé jusqu'à une profondeur d'un tiers ou deux tiers, lobes elliptiques à ovales ou arrondis. Inflorescence : grappe axillaire, opposée aux feuilles, ou terminale, à 1–10 fleurs. Fleurs bisexuées, presque régulières, 5-mères ; hypanthium de (1,5–)2–5,5(–6,5) cm de long ; sépales linéaires à linéaires-lancéolés, de 1,5–5 cm de long ; pétales étroitement elliptiques à ovales, de 2–8,5 cm × 0,5–4 cm, entièrement blancs ou quelquefois roses à la base de la nervure médiane ; étamines fertiles (4–)5(–6), de longueur légèrement inégale, staminodes 4–5 ; ovaire supère, mince, poilu, style de 2–4 cm de long. Fruit : gousse linéaire-oblongue à oblancéolée-oblongue de 10–24 cm × 1,5–5 cm, ligneuse, déhiscente, contenant 5–6 graines. Graines de 1–3 cm × 0,5–2 cm, châtain très foncé à noirâtre.

Bauhinia est un genre tropical largement réparti qui comprend environ 250 espèces. A l'intérieur de *Bauhinia petersiana*, on distingue 2 sous-espèces. La subsp. *petersiana* présente des inflorescences à 2–10 fleurs, des poils apprimés sur la face inférieure des feuilles, et se trouve dans les parties les plus orientales et les plus septentrionales de l'aire de répartition de l'espèce. La subsp. *macrantha* (Oliv.) Brummitt & J.H.Ross présente des inflorescences à 1–3(–4) fleurs, des poils courbes ou étalés sur la face inférieure des feuilles, et se rencontre du sud de la Zambie et de l'ouest du Zimbabwe vers le sud et l'ouest.

Bauhinia petersiana ne forme pas de nodules racinaires et dépend de l'azote du sol.

Ecologie On trouve *Bauhinia petersiana* dans les savanes herbeuses, arborées et boisées. En Afrique de l'Est, on le rencontre à 150–1850 m d'altitude. En Afrique australe, il est présent en zones sèches, par ex. dans le désert du Kalahari où les précipitations annuelles n'excèdent pas 350 mm, et il tolère le gel.

Gestion Dans le Kalahari, les graines de *Bauhinia petersiana* sont récoltées d'avril à juillet. Quand il est cultivé comme ornemental, *Bauhinia petersiana* est multiplié par graines, boutures ou marcottage. Le poids de 100 graines est d'environ 670 g.

Ressources génétiques et sélection Il semblerait que *Bauhinia petersiana* ait disparu complètement des pâturages communaux dans le sud du Botswana, peut-être à cause du surpâturage croissant. Deux entrées originaires du Botswana sont conservées au Millenium Seedbank (Ardingly, West Sussex, Royaume-Uni), une seule en provenance du Zimbabwe est détenue par le Desert Legume Programme aux Etats-Unis.

Perspectives Bien que l'on songe depuis longtemps à mettre en culture *Bauhinia petersiana* en tant que plante alimentaire, rien n'a été tenté jusqu'à présent pour domestiquer l'espèce, ni pour exploiter voire même explorer sa diversité génétique. Il est urgent d'entreprendre des actions de conservation des populations méridionales, in situ ou ex situ, afin d'éviter la perte de diversité.

Références principales Arnold, Wells & Wehmeyer, 1985; Coates Palgrave, 1983; Gelfand et al., 1985; Leger, 1997; von Koenen, 2001.

Autres references Brenan, 1967; Brummitt & Ross, 1982; Dakora, Lawlor & Sibuga, 1999; Ketshajwang, Holmback & Yeboah, 1998; National Academy of Sciences, 1979; Neuwinger, 2000; Ross, 1977; Story, 1958; van Wyk & Gericke, 2000; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Auteurs C.H. Bosch

BRACHIARIA DEFLEXA (Schumach.) C.E.Hubb. ex Robyns

Protologue Bull. Jard. Bot. Etat. 9(3) : 181 (1932).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 18, 36$

Synonymes *Pseudobrachiaria deflexa* (Schumach.) Launert (1970).

Noms vernaculaires Fonio à grosses graines, gros fonio, millet de Guinée, kolo rassé (Fr). Guinea millet, animal fonio, false signal grass (En). Jégé (Po).

Origine et répartition géographique Le fonio à grosses graines est une adventice semi-domestiquée de la savane africaine. On le trouve depuis le Cap-Vert et le Sénégal jusqu'en Ethiopie, en Erythrée et en Somalie, et vers le sud jusqu'en Afrique du Sud ; il est également présent en Asie occidentale jusqu'au Pakistan et en Inde.

Usages Le fonio à grosses graines est considéré comme faisant partie des "kreb", un groupe de graminées que l'on trouve dans la zone sahélienne et qui sont ramassées pour la consommation humaine, en particulier en période de disette. Dans le massif du Fouta Djallon à la frontière entre la Guinée et le Mali, le grain d'un type cultivé est réduit en une farine qui sert à la fabrication de gâteaux et de beignets. Le fonio à grosses graines fournit un excellent fourrage.

Propriétés Le fonio à grosses graines possède

des grains tendres, faciles à moudre en farine.

Botanique Graminée annuelle atteignant 70(–100) cm de haut ; tiges (chaumes) solitaires ou en touffe, minces, souvent frêles et ascendantes. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine pâle, striée, finement pubescente ; ligule ciliée ; limbe largement linéaire à étroitement lancéolé, de 4–25 cm × 0,5–2,5 cm, pubescent velouté. Inflorescence en forme de panicule, composée de 5–15 grappes portées par un axe de 6–15 cm de long ; grappes distantes, largement étalées, de 2–10 cm de long, souvent ramifiées latéralement, comportant généralement des groupes distants de deux épillets. Epillet à pédicelle jusqu'à 15 mm de long, largement elliptique, de 2–3,5 mm de long, glabre à pubescent, aigu, à 2 fleurs avec la fleur inférieure mâle ou stérile et la fleur supérieure bisexuée ; glume inférieure au plus moitié moins longue que l'épillet, glume supérieure aussi longue que l'épillet, membraneuse, 7-nervée ; lemme de la fleur inférieure membraneuse, lemme de la fleur supérieure ridée et aiguë ; paléole de la fleur supérieure obtuse à aiguë ; étamines 3 ; ovaire supère, avec 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde, comprimé.

Le genre *Brachiaria* comprend environ 100 espèces réparties dans les régions tropicales et subtropicales, essentiellement dans l'Ancien Monde. Il a été proposé d'intégrer presque complètement les *Brachiaria* dans le genre *Urochloa*. *Brachiaria deflexa* se distingue habituellement bien des autres espèces de *Brachiaria* grâce à son inflorescence en forme de panicule, qui ressemble à celle des *Panicum* spp. Sa variation coïncide en partie avec celle de *Brachiaria ramosa* (L.) Stapf et elle est parfois incluse dans cette dernière. On confond souvent le fonio à grosses graines et le vrai fonio (*Digitaria exilis* (Kippist) Stapf). Par rapport au fonio, ses grains sont plus gros et il pousse plus vite, mais il a besoin d'une plus grande fertilité du sol de même que d'un meilleur drainage. Le type cultivé qui est semé sur le massif du Fouta Djallon (appelé var. *sativa* Portères) diffère des types sauvages récoltés ailleurs, notamment parce qu'il est totalement glabre, qu'il a une tige ramifiée et des grains beaucoup plus gros ; en outre, il n'est pas égrenant.

Certains types de fonio à grosses graines mûrissent en l'espace de 70–75 jours, mais la plupart ont besoin de 90–130 jours pour arriver à maturité. Le fonio à grosses graines a un cycle de photosynthèse en C_4.

Ecologie On le trouve du niveau de la mer jusqu'à 1500 m d'altitude en savane boisée, en bordure de forêts et comme adventice de terres cultivées et de sols perturbés, préférant souvent des endroits légèrement ombragés. Il passe pour résistant à la sécheresse. *Brachiaria deflexa* a besoin de sols fertiles et bien drainés pour une croissance optimale.

Gestion Le fonio à grosses graines est essentiellement récolté dans la nature, mais les paysans encouragent parfois son invasion dans les champs de céréales, et il est semé comme céréale dans le massif du Fouta Djallon. De temps à autre, les paysans sèment des types de fonio à grosses graines à cycle court pour combler les vides laissés dans un champ de fonio, de sorgho, de maïs ou d'autres céréales.

Ressources génétiques et sélection Des collections de fonio à grosses graines sont détenues par le CIAT (Centre international d'agriculture tropicale, Cali, Colombie, 16 entrées) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, Kikuyu, Muguga, 5 entrées). Compte tenu de l'étendue de sa répartition, il ne semble pas menacé d'érosion génétique. Le cultivar semé dans le massif du Fouta Djallon pourrait offrir des possibilités pour une sélection ultérieure.

Perspectives On sait trop peu de choses sur le fonio à grosses graines pour dresser un bilan exact de ses possibilités en tant que culture vivrière. Davantage d'informations sont nécessaires sur ses propriétés nutritionnelles, sur son agronomie, sur ses exigences écologiques ainsi que sur sa diversité génétique. Le type sauvage demeurera une plante fourragère précieuse des zones arides, grâce à sa résistance à la sécheresse et à ses excellentes caractéristiques fourragères.

Références principales Burkill, 1994; Clayton & Renvoize, 1982; Gibbs Russell et al., 1990; National Research Council, 1996; Portères, 1976.

Autres references Basappa, Muniyamma & Chinnappa, 1987; Baudet, 1981; Clayton, 1972; Clayton, 1989; Cope, 1995; de Wet, 1995c; Fröman & Persson, 1974; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Phillips, 1995; van der Hoek & Jansen, 1996a.

Auteurs M. Brink

CAJANUS CAJAN (L.) Millsp.

Protologue Publ. Field Columbian Mus., Bot. Ser. 2(1) : 53 (1900).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

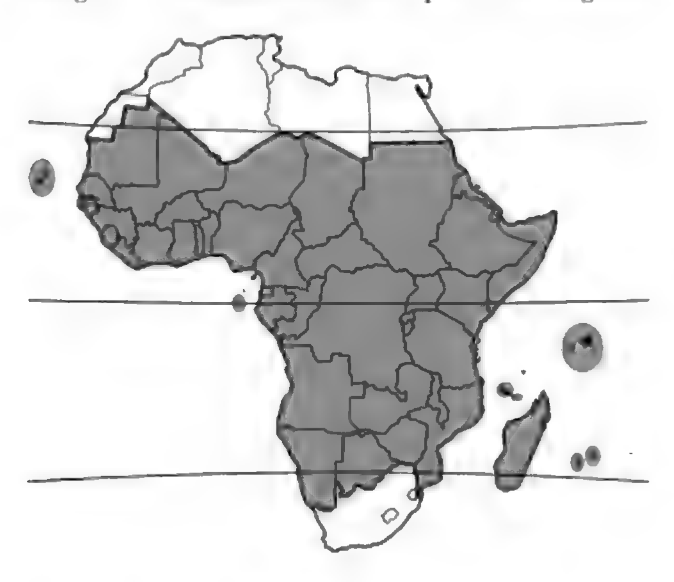
Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Cajanus indicus* Spreng. (1826).

Noms vernaculaires Pois cajan, pois d'Angole, ambrevade (Fr). Pigeon pea, Congo pea, red gram (En). Ervilha do Congo, feijão guandu, ervilha de Angola (Po). Mbaazi (Sw).

Origine et répartition géographique Le pois cajan est originaire de l'Inde, où sa culture remonte à des milliers d'années. Il est arrivé en Afrique vers 2000 av. J.-C. ou même avant, et un centre secondaire de diversité s'est développé en Afrique de l'Est. Avec les conquêtes et la traite des esclaves, il a gagné les Amériques, probablement aussi bien via l'Atlantique que le Pacifique. De nos jours, il est cultivé dans l'ensemble des régions tropicales, mais c'est surtout dans le sous-continent indien et en Afrique de l'Est qu'il est important. Il est inconnu à l'état sauvage, mais on le trouve souvent échappé des cultures et naturalisé.

Usages En Afrique, les graines sèches de pois cajan s'emploient souvent dans des sauces en accompagnement d'aliments de base comme le manioc, l'igname et le riz. Les graines mûres se consomment frites ou cuites à l'eau, souvent après trempage, ou bien on les fait cuire en bouillie. Dans le sous-continent indien, le pois cajan est surtout utilisé comme légume sec, sous forme de "dal" (graines trempées, séchées, décortiquées et cassées), et les communautés indiennes vivant en Afrique conservent cet usage. La consommation des pois et des gousses immatures comme légume, en soupe ou en sauce, est courante dans de nombreux pays africains. La conservation des graines vertes, en boîte ou en surgelé, se pratique surtout en Amérique centrale. En Asie, on peut utiliser le pois cajan à la place du soja pour confectionner le tempeh ou le tofu.



Cajanus cajan – planté

Les parties végétatives constituent un excellent fourrage et les graines entrent aussi dans l'alimentation animale. Les sous-produits du dal (les téguments et les cotylédons brisés) s'emploient en Inde pour nourrir le bétail et les volailles, mais aussi au Kenya et au Malawi.

Le pois cajan est utile pour les haies et les brise-vent sur sols secs, ainsi que dans des systèmes agroforestiers (par ex. dans les systèmes de cultures en allées, où on le taille pour fournir un engrais vert). Il se cultive aussi comme plante d'ombre, de couverture, ou comme support pour la vanille. Grâce à son système racinaire étendu, l'azote qu'il fixe et le mulch que procurent ses feuilles tombées, le pois cajan améliore le sol. C'est l'un des hôtes du ver à soie (Madagascar) et de la cochenille à laque. Les tiges et les rameaux, en particulier ceux des cultivars à cycles moyen et long, sont utilisés pour confectionner des paniers, des toitures, des clôtures, et aussi comme combustible. Au Nigeria, les tiges servent au tuteurage de l'igname. Le pois cajan trouve tout un éventail d'applications en médecine traditionnelle. La diarrhée, la blennorragie, la rougeole, les brûlures, les infections oculaires, les douleurs d'oreille, les maux de gorge, les douleurs gingivales ou dentaires, l'anémie, les vers intestinaux, les vertiges et l'épilepsie se traitent avec des préparations de feuilles. Des préparations de racines se prennent pour soigner la toux, les problèmes gastriques et la syphilis. On applique de la cendre des tiges sur les plaies et on mastique les rameaux et les racines contre les douleurs dentaires. Les graines réduites en poudre s'appliquent en cataplasme sur les enflures. A Madagascar, on se sert des feuilles pour se nettoyer les dents.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale de pois cajan en 1999–2003 s'élevait à 3,1 millions de t/an sur 4,3 millions d'ha ; l'Inde est le principal pays producteur (2,5 millions de t sur 3,4 millions d'ha). Les principaux producteurs d'Afrique tropicale, en 1999–2003, ont été le Malawi (79 000 t sur 123 000 ha), l'Ouganda (78 000 t sur 78 000 ha), le Kenya (59 000 t sur 152 000 ha) et la Tanzanie (47 000 t sur 66 000 ha). La produc-

tion annuelle au Mozambique est évaluée à 40 000 t. Au niveau mondial, la superficie cultivée en pois cajan a connu une augmentation régulière, passant de près de 2,8 millions d'ha au début des années 1960 à environ 4,3 millions d'ha aujourd'hui ; la production est passée quant à elle de 1,5–2 millions de t à presque 3 millions de t sur la même période.

Le pois cajan est consommé surtout localement et seules des quantités limitées entrent sur le marché international, pour lequel on ne dispose pratiquement pas de statistiques. Mais il arrive qu'une demande à l'export encourage fortement sa culture. Au Malawi et au Kenya, on a estimé qu'entre 1996–1998, 65% de la production de pois cajan avait été autoconsommée, 10% s'était vendue sur les marchés intérieurs, et 25% avait été exportée. Pour la Tanzanie, ces quantités se montaient respectivement à 35%, 10% et 55%. L'Inde est de loin le plus important importateur, suivie par le Proche-Orient. Sur le marché indien, le pois cajan africain doit surtout affronter la concurrence du pois cajan du Myanmar et des pois canadiens et français. Le pois cajan fait l'objet d'un commerce important en Afrique, souvent informel, par exemple entre le Mozambique et le Malawi et entre la Tanzanie et le Kenya. Au nord de la Tanzanie, la plus grande partie de la production de pois cajan est vendue au Kenya, où elle est très prisée par la communauté indienne.

Propriétés La composition des graines mûres crues de pois cajan, par 100 g de partie comestible, est : eau 10,6 g, énergie 1435 kJ (343 kcal), protéines 21,7 g, lipides 1,5 g, glucides 62,8 g, fibres alimentaires 15,0 g, Ca 130 mg, Mg 183 mg, P 367 mg, Fe 5,2 mg, Zn 2,8 mg, vitamine A 28 UI, thiamine 0,64 mg, riboflavine 0,19 mg, niacine 3,0 mg, vitamine B_6 0,28 mg, folates 456 μg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 212 mg, lysine 1521 mg, méthionine 243 mg, phénylalanine 1858 mg, thréonine 767 mg, valine 937 mg, leucine 1549 mg et isoleucine 785 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 778 mg et acide palmitique 307 mg (USDA, 2004). La méthionine est l'acide aminé limitant, suivi par le tryptophane et la thréonine. Les facteurs antinutritionnels chez le pois cajan nigérian comprennent une activité d'inhibition de la trypsine, des tanins et des phytates.

La composition des graines immatures crues, par 100 g de partie comestible, est de : eau 65,9 g, énergie 569 kJ (136 kcal), protéines 7,2 g, lipides 1,6 g, glucides 23,9 g, fibres alimentaires 5,1 g, Ca 42 mg, Mg 68 mg, P 127 mg, Fe 1,6 mg, Zn 1,0 mg, vitamine A 67 UI, thiamine 0,40 mg, riboflavine 0,17 mg, niacine 2,2 mg, folates 173 μg et acide ascorbique 39 mg (USDA, 2004). Les feuilles contiennent 15–24% de protéines brutes. Des extraits de graines de pois cajan se sont avérés avoir une action contre la falciformation des globules rouges. On a attribué cette activité à la présence de phénylalanine et d'acide hydroxybenzoïque ; des composés voisins ont un effet encore plus prononcé.

Description Arbuste ou sous-arbrisseau érigé, atteignant 4 m de haut, très souvent cultivé comme plante annuelle, à racines atteignant 2 m de profondeur ; tige érigée, côtelée, atteignant 15 cm de diamètre ; rameaux nombreux, élancés. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules linéaires, de 2–4 mm de long ; pétiole de (1–) 1,5–6(–8) cm de long, cannelé au-dessus ; rachis de 0,5–3 cm de long, légèrement ailé ; stipelles filiformes, de 1–4 mm de long ; pétiolules de 1–4 mm de long ; folioles elliptiques à lancéolées, de 2,5–13,5 cm × 1–5,5 cm, aiguës, couvertes de petites glandes jaunes, vertes au-



Cajanus cajan – 1, partie d'un rameau en fleurs et en fruits ; 2, graine.
Redessiné et adapté par Achmad Satiri Nurhaman

dessus, d'un gris-vert argenté en dessous. Inflorescence : fausse grappe axillaire de 3,5–12 cm de long ; pédoncule atteignant 8 cm de long ; bractées caduques, ovales, d'environ 8 mm × 5 mm, aiguës. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 0,5–1,5 cm de long ; calice campanulé, velouté jaunâtre et glanduleux, tube de (3–)4–5(–6) mm de long, lobes de 3–5(–7) mm de long ; corolle jaune ou crème, étendard presque rond, de 12–22 mm de diamètre, jaune-rouge, orangé ou violet sur le dos, ailes obovales, de 15–20 mm × 6–7 mm, jaunes, à onglet, pétales de la carène de 14–17 mm × 5–7 mm, jaune-vert, à onglet ; étamines 10, dont 9 fusionnées et 1 libre ; ovaire supère, 1-loculaire, style courbe. Fruit : gousse droite ou en faucille de 2–10(–13) cm × (0,5–)1–1,5 cm, poilue, glanduleuse-ponctuée, déhiscente en 2 valves qui s'entortillent en spirale, septée entre les graines, à (2–)4–9 graines. Graines globuleuses à ellipsoïdes ou un peu carrées, de 4–9 mm × 3–8 mm × 3–6 mm, blanches, crème, brunes, violacées à presque noires, unies ou marbrées. Plantule à germination hypogée ; premières feuilles simples.

Autres données botaniques Le genre *Cajanus* comporte 34 espèces. On connaît deux espèces sauvages de *Cajanus* en Afrique : *Cajanus kerstingii* Harms originaire d'Afrique occidentale et *Cajanus scarabaeoides* (L.) Thouars présente le long des côtes africaines et malgaches, et plus à l'intérieur des terres dans certains endroits. La première espèce ne se croise pas avec *Cajanus cajan*, mais la deuxième peut produire avec lui des hybrides ; on en connaît des hybrides spontanés, mais ils sont rares. Bien que l'utilisation de *Cajanus kerstingii* en alimentation humaine et animale ne soit pas documentée, il pourrait avoir un intérêt similaire au pois cajan. Au Sénégal, les rameaux de *Cajanus kerstingii* sont employés dans la construction des murs de huttes temporaires. D'autres espèces apparentées du pois cajan se trouvent en Asie et Australie.

En Inde, on distingue chez le pois cajan 10 groupes de maturité, que l'on combine d'ordinaire en quatre catégories : les cultivars à maturité extra précoce, précoce, moyenne et tardive (120, 145, 185, et plus de 200 jours après le semis, respectivement).

Croissance et développement Les graines de pois cajan germent à des températures comprises entre 19–43°C, mais le plus rapidement à 20–30°C. La levée est complète 2–3 semaines après le semis. Si le développement végétatif débute lentement, après 2–3 mois la croissance s'accélère. La floraison (de 50% des plantes) commence 56–210 jours après le semis ; la maturité de la graine est atteinte normalement entre 95–260 jours. Dans les régions humides, la floraison et la fructification peuvent se prolonger toute l'année. La structure de la fleur du pois cajan favorise l'autogamie, mais on a noté jusqu'à 82% d'allogamie, en fonction de la présence et de l'activité des insectes pollinisateurs. Les racines du pois cajan ont des nodosités et fixent l'azote en association avec des souches de *Bradyrhizobium* et de *Rhizobium*.

Ecologie Le pois cajan est cultivé dans les régions tropicales et subtropicales entre les latitudes de 30°N et 30°S. Les températures moyennes optimales se situent entre 18–29°C ; le gel n'est pas toléré. Au-dessus de 29°C, l'humidité du sol et sa fertilité peuvent être des facteurs limitants. Les précipitations annuelles optimales sont de 600–1000 mm, mais le pois cajan supporte la sécheresse et peut être cultivé dans des régions où les précipitations sont inférieures à 600 mm. Il pousse également dans des régions où les précipitations annuelles sont supérieures à 2500 mm. La floraison est accélérée par les jours courts ; il existe très peu de types vraiment insensibles à la photopériode. En Afrique, le pois cajan est cultivé jusqu'à 2000(–2400) m d'altitude. Si sa culture est possible sur toutes sortes de sols, l'asphyxie racinaire ne lui convient pas. Des terres drainées à capacité de rétention d'eau intermédiaire et un pH de 5–7 lui sont favorables. Une salinité de 6–12 dS/m est tolérée par de nombreux cultivars.

Multiplication et plantation Le pois cajan se multiplie par graines. Le bouturage réussit rarement. La longévité des graines dépend des conditions de stockage ; dans les banques de gènes, à température et humidité faibles, elles survivent pendant des décennies. Le poids de 1000 graines est de 30–280 g ; en Afrique, les cultivars à grandes graines sont les plus communs. Les modes de plantation varient largement et les graines peuvent se semer à la volée ou en lignes, avec des écartements de 40–200 cm × 20–180 cm. Les plants sont difficiles à repiquer. En Afrique et en Inde, le pois cajan se cultive souvent en association, habituellement avec des céréales, mais également avec le manioc et le cotonnier. Il est bien adapté aux systèmes de cultures associées en raison de sa croissance initiale lente, qui réduit la compétition avec la plante qu'il accompagne, et de sa maturité tardive, qui permet d'étaler les besoins de main d'œuvre au moment de la récolte.

Après la récolte de l'autre culture, le pois cajan à cycle long continue à croître et à produire des graines, tout en protégeant le sol. Le pois cajan donne de bons résultats lorsqu'on le fait pousser en lignes uniques alternées avec deux lignes de céréales (du sorgho ou du mil par ex.) ou bien du cotonnier ou de l'arachide. En Ouganda et à l'île Maurice, on le fait généralement pousser pour améliorer le champ vers la fin d'un cycle de rotation.
Des cultures in vitro ont été initiées avec succès à partir de diverses sources de tissus, dont les feuilles, les pousses et les racines, et tant l'organogenèse que l'embryogenèse somatique sont possibles. On a également obtenu des plantes régénérées par culture de tissus et par différenciation directe à partir des feuilles.

Gestion En tant que plante agricole, le pois cajan est considéré comme assez primitif ; les génotypes de grande taille en particulier sont assez encombrants à cultiver. Il est nécessaire de lutter contre les adventices en raison de la lenteur de la croissance au départ. La réponse aux engrais est rarement économique ; une fumure aux phosphates est généralement recommandée, à la dose de 20–100 kg/ha. Mais en Afrique tropicale, l'épandage d'engrais sur le pois cajan n'est pas courant. Les résidus d'azote laissés par une culture de pois cajan peuvent avoisiner les 40 kg/ha. En Inde, l'absorption en nutriments d'une culture de pois cajan produisant 1,2 t de graines et 6,3 t de paille par ha a été évaluée à 85 kg de N, 8 kg de P, 16 kg de K, 23 kg de Ca, 15 kg de Mg, 9 kg de S, 38 g de Zn, 31 g de Cu, 128 g de Mn et 1440 g de Fe par ha. Bien que le vent puisse coucher les plantes, le tuteurage ne se pratique pas. L'irrigation comme moyen ultime de sauver une culture peut être économique ; en agriculture intensive de cultivars à cycle court, l'irrigation peut s'avérer nécessaire. Le pois cajan se cultive également comme culture de repousse, par ex. en Afrique centrale et orientale. Mais pour une repousse rapide, il ne faut pas tailler les plantes à moins de 50 cm. On peut éliminer une partie des pousses pour diminuer la compétition.

Maladies et ravageurs Les maladies fongiques du pois cajan les plus importantes en Afrique tropicale sont la cercosporose (*Mycovellosiella cajani*, synonyme *Cercospora cajani*), la fusariose (*Fusarium udum*) et l'oïdium (*Leveillula taurica*). Si dans les régions sèches la cercosporose n'a qu'un faible impact, dans les régions humides elle peut être à l'origine de graves pertes. On peut lutter contre elle en pulvérisant régulièrement des fongicides tels que le bénomyl et le mancozèbe, ainsi qu'en recourant à des semences exemptes de maladies et en choisissant des terres éloignées de pois cajan pérenne, qui peuvent constituer une source d'inoculum. On a identifié des lignées de pois cajan résistantes à la cercosporose. Les mesures de lutte préconisées contre la fusariose, propagée par la graine et par le sol, sont la culture associée, la rotation avec des céréales, la jachère, l'élimination des plantes malades, le traitement des semences aux fongicides, et le recours à des semences et des champs exempts de maladies ; mais la meilleure stratégie reste l'utilisation de cultivars résistants. Des lignées moyennement résistantes sont disponibles dans tous les groupes de maturité. La fusariose fait généralement plus de dégâts dans les cultures de repousses, et ce à partir de la seconde année. Contre l'oïdium, il est suggéré de recourir à des fongicides et de choisir des champs qui ne soient pas situés à proximité de pois cajan pérenne ; des lignées résistantes ont été repérées. Le virus de la mosaïque et de la stérilité du pois cajan (PPSMV), maladie principale du pois cajan en Inde, semble ne toucher que l'Asie. Le pois cajan est sensible aux nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) et aux nématodes réniformes (*Rotylenchus* spp.). Des lignées résistantes ont été identifiées en Inde.
Les insectes ravageurs sont importants dans toutes les régions où l'on cultive le pois cajan. Les plus importants sont les punaises suceuses de gousses (essentiellement *Clavigralla* spp.), les foreurs de gousses (dont *Helicoverpa armigera* et *Maruca vitrata*, synonyme *Maruca testulalis*) et les mouches des gousses du pois cajan (*Melanagromyza chalcosoma*). L'emploi d'insecticides est recommandé, mais la lutte chimique s'avère malaisée et onéreuse sur les plantes de grande taille à croissance indéterminée. On a repéré des lignées résistantes soit à *Helicoverpa armigera* soit à *Melanagromyza chalcosoma*, soit aux deux, ainsi qu'à *Maruca vitrata* ; toutefois ces résistances n'ont pas été incorporées dans des cultivars qui auraient des graines de saveur, de couleur et de taille acceptables pour les paysans. La lutte intégrée, qui fait appel à l'emploi d'insecticides de façon judicieuse, au recours à des cultivars tolérants ou résistants, à la mise en œuvre de pratiques agronomiques (date de plantation) et à la lutte biologique utilisant les prédateurs naturels, est actuellement à l'étude. La longue période de floraison du pois cajan fait que les dégâts causés par des ravageurs tels que *Helicoverpa ar-*

migera et d'autres insectes foreurs, ainsi que par les mouches des fruits *Agromyza*, peuvent être compensés par de nouvelles vagues de croissance. Les bruches (*Callosobruchus* spp.) constituent d'importants ravageurs du pois cajan, qui infestent aussi bien les gousses au champ que les graines stockées. Une conservation dans des récipients propres et sous forme de pois cassés minimise ces attaques. Parmi les autres moyens de lutte, on peut citer le séchage au soleil, le traitement insecticide et la conservation en mélangeant les graines avec des cendres ou divers produits végétaux tels que des extraits ou des feuilles du tabac ou du nim (*Azadirachta indica* A.Juss.)

Récolte Les gousses immatures de pois cajan se récoltent sur une longue période dans les jardins familiaux ou sur les cultures en haies, comme c'est l'usage en Afrique. Pour les graines mûres, on coupe généralement la plante au niveau du sol lorsque la plupart des gousses sont arrivées à maturité ; à ce stade il reste encore de nombreuses feuilles vertes. Un autre moyen est de cueillir les gousses mûres sur le pied, parfois en plusieurs passages étant donné que la plante mûrit souvent de façon inégale. La récolte mécanisée des gousses mûres est possible avec des moissonneuses-batteuses, mais seulement sur des cultivars de petite taille à maturité uniforme et à gousses situées au même niveau au-dessus du sol.

Rendements En Afrique, les rendements en graines de pois cajan atteignent en moyenne 600 kg/ha, avec des variétés locales traditionnelles en culture associée. Pour l'Ouganda on a enregistré des rendements de 1000 kg/ha. Dans des conditions optimales et en culture pure, on peut atteindre 5000 kg/ha. Si les rendements sont faibles, ce peut être dû en partie au fait qu'une part considérable des graines est récoltée et consommée avant maturité. Les rendements en fourrage sont de 3–8 t/ha, mais dans certains essais on a obtenu 50 t/ha. Comme combustible, on obtient généralement 7–10 t/ha, mais des rendements atteignant 30 t/ha ont été enregistrés.

Traitement après récolte Une fois séchées en plein air, les plantes de pois cajan entières sont battues d'habitude manuellement, ou par piétinement du bétail, puis on procède au nettoyage des graines. Les pois frais écossés sont vendus au marché comme légume. On peut transformer les graines sèches en pois cassés, par la voie humide après aspersion des tas de graines, ou par la voie sèche au moulin.

Ressources génétiques Les collections de ressources génétiques du pois cajan au niveau mondial couvrent l'Inde et plusieurs pays africains, ainsi que certaines îles des Caraïbes. Plus de 13 000 échantillons de *Cajanus cajan* sont disponibles dans la collection de l'Institut international de recherche sur les plantes cultivées des zones tropicales semi-arides (ICRISAT, Patancheru, Inde), et divers sélectionneurs et instituts détiennent des lots de cette collection. Quelque 18 espèces sauvages de *Cajanus* et au moins 39 autres espèces de la sous-tribu *Cajaninae* y sont representées. Des espèces pérennes apparentées sont régulièrement cultivées dans le jardin botanique de l'ICRISAT, dont l'objectif est de couvrir la totalité des taxons et des régions de provenance. En Afrique tropicale, le National Genebank du Kenya de Kikuyu possède une collection de plus de 1200 entrées de pois cajan. Les graines de pois cajan sont orthodoxes en conservation.

Sélection L'amélioration génétique du pois cajan, qui a débuté en Inde au début du XX[e] siècle, a porté essentiellement sur la sélection de variétés locales plus productives et à maturité précoce. C'est au début des années 1970, à l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), que des travaux concertés d'amélioration ont commencé, pour mettre au point des cultivars de petite taille à croissance déterminée. Au sein du système du Groupement consultatif de la recherche agronomique internationale (GCRAI), l'ICRISAT est désormais chargé de l'amélioration du pois cajan. Jusqu'à présent, les programmes nationaux de sélection en Afrique ont surtout compté sur les lignées et les sélections à partir des variétés locales produites par l'ICRISAT, mais certains pays (par ex. le Kenya, l'Ouganda et le Rwanda) ont mis au point leurs propres programmes de croisements.

L'amélioration génétique du pois cajan est surtout orientée sur des rendements élevés, et sur les préférences des consommateurs et des minotiers. Un rendement régulier peut être obtenu en sélectionnant pour l'insensibilité à la photopériode, la résistance aux maladies et ravageurs, et l'aptitude à la culture associée ainsi qu'aux récoltes multiples. On dispose aujourd'hui de génotypes améliorés pour la plupart de ces caractéristiques. La résistance existe chez les espèces apparentées sauvages et il y a des types prometteurs qui sont résistants aux maladies et ravageurs. En raison de la fréquence de la fécondation croisée, les méthodes traditionnelles pratiquées sur les plantes autogames, telles que la sélection généalogi-

que, n'ont pas été très efficaces. De plus, la sélection est compliquée par une importante interaction génotype × environnement. Chez *Cajanus cajanifolius* (Haines) Maesen, une stérilité mâle génétique est disponible et on l'emploie dans les programmes de sélection d'hybrides. Cependant, les coûts de production de semences hybrides sont élevés, et on cherche une source de stérilité mâle cytoplasmique. Parmi les cultivars indiens à cycle court, on peut citer 'Prabhat', 'T21', 'UPAS-120' ; des cultivars à cycle moyen sont 'C 11', 'BDN-1', 'Pusa Ageti', 'Sharda' et plusieurs lignées 'ICP' mises au point par l'ICRISAT. Des cultivars hybrides sont également disponibles. Au Kenya, parmi les cultivars améliorés, on peut citer 'NPP 670', 'KAT 60/8' (tous deux mis au point au Kenya) et 'ICPL 87091'. Ceux-ci sont toutefois plus sensibles aux insectes ravageurs que les variétés locales en raison de leur croissance déterminée et du fait qu'ils commencent à fleurir lorsque les populations de ravageurs sont importantes. Par ailleurs, les graines de 'KAT 60/8' et de 'ICPL 87091' sont relativement petites, ce qui en fait des produits moins prisés sur les marchés locaux que les grosses graines des variétés locales. Le cultivar 'ICP 9145', résistant à la fusariose et dérivé d'une variété locale recueillie au Kenya par l'ICRISAT, a été commercialisé avec succès au Malawi. Les lignées 'ICPL 87' et 'ICPL 146' sont recommandées en Tanzanie, au Malawi et au Zimbabwe comme cultivars aptes à la culture pure et aux récoltes multiples. Le transfert de la résistance aux insectes (à partir de *Cajanus scarabaeoides* (L.) Thouars), d'une teneur élevée en protéines (plusieurs espèces), d'une meilleure résistance à la sécheresse (*Cajanus acutifolius* (Benth.) Maesen), d'une tolérance à la salinité du sol (*Cajanus albicans* (Wight & Arn.) Maesen) ou du caractère annuel (*Cajanus platycarpus* (Benth.) Maesen) n'a pas encore été concrétisé. Des lignées tolérantes aux insectes ont cependant été identifiées.

Des plantes transgéniques de pois cajan, exprimant un gène du niébé inhibiteur de la protéase ou un antigène protecteur du virus de la peste bovine, ont été obtenues par transfert de gènes réalisé au moyen d'*Agrobacterium* ou à l'aide d'un bombardement de microparticules.

Perspectives Si l'on connaît bien le pois cajan comme culture polyvalente, il faudrait encourager sa culture notamment dans les régions semi-arides, auxquelles il est bien adapté en raison de sa tolérance à la sécheresse et aux sols peu fertiles, ainsi que de sa capacité à reprendre suite à un stress environnemental ou biotique. Son potentiel important en matière de rendement en graines est prometteur dans des milieux plus favorables. Indiqué dans les systèmes agroforestiers, pour les jardins de petits producteurs et pour la culture en haies, le pois cajan convient aussi aux jachères améliorées de courte durée. Il s'adapte également dans les systèmes plus intensifs. Des cultivars à cycle court, insensibles à la photopériode, de petite taille, à port déterminé et à croissance rapide, possédant également un indice de récolte élevée, pourraient constituer l'idéotype à rechercher. A l'export (vers l'Inde principalement), le pois cajan africain doit faire face à une forte concurrence et à une productivité plus élevée ; des systèmes de commercialisation plus efficaces sont nécessaires afin qu'il reste compétitif sur ce marché.

Références principales Hillocks et al., 2000; lo Monaco, 2003; Nene, Hall & Sheila, 1990; Reddy, Raju & Lenné, 1998; Silim, Mergeai & Kimani (Editors), 2001; Silim, Tuwafe & Singh (Editors), 1994; Singh et al., 2001; van der Maesen, 1985; van der Maesen, 1989a; Whiteman, Byth & Wallis, 1985.

Autres références Akojie & Fung, 1992; Aulakh et al., 1985; Berhaut, 1976; du Puy et al., 2002; Ene-Obong, 1995; Gillett et al., 1971; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Joshi et al., 2001; Kay, 1979; Mackinder et al., 2001; Mergeai et al., 2001; Neuwinger, 2000; Polhill, 1990; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Remanandan & Singh, 1997; Tabo et al., 1995; Thulin, 1989a; USDA, 2004; van der Maesen, 2003; Westphal, 1974.

Sources de l'illustration Busson, 1965.

Auteurs L.J.G. van der Maesen

CENCHRUS BIFLORUS Roxb.

Protologue Fl. ind. 1: 238 (1820).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes n = 15, 16, 17, 18, 24

Noms vernaculaires Cram-cram (Fr). Cram-cram, Indian sandbur (En).

Origine et répartition géographique On trouve *Cenchrus biflorus* dans toute l'Afrique tropicale, et il s'étend vers l'est à travers l'Arabie et l'Iran jusqu'au Pakistan et à l'Inde. Il a été introduit ailleurs, par ex. en Amérique du Nord et en Australie.

Usages Le grain de *Cenchrus biflorus* est

comestible et très nutritif. Dans les zones où les gens ont à peine de quoi vivre, les graines sont régulièrement récoltées ; ailleurs, il est considéré comme un aliment de famine. Au Sahel, il est ramassé comme une céréale sauvage, par ex. par les Touaregs. Les grains sont écrasés et consommés crus, transformés en bouillie, ou bien mélangés et cuits avec d'autres aliments. Ils servent aussi à préparer une boisson. Au Soudan, on fabrique une galette plate ("kisra") avec les grains et en Mauritanie des gâteaux à partir des grains moulus. Les grains de *Cenchrus biflorus* servent aussi d'aliment de famine en Inde, où ils sont consommés crus ou bien utilisés, mélangés à du mil, pour la fabrication du pain. En temps normal, ils sont consommés, mélangés avec du sucre et du "ghee", comme aliment pour les enfants.

Cenchrus biflorus est considéré comme une plante fourragère très utile au Sahel ; elle est broutée essentiellement lorsqu'elle est jeune et une fois que les grains sont tombés. On peut la faucher à plusieurs reprises pendant la saison des pluies pour en faire du foin ou de l'ensilage. Les involucres épineux sont suffisamment ramollis par l'ensilage pour rendre possible la consommation de la plante entière. *Cenchrus biflorus* persiste jusqu'à la fin de la saison sèche, ce qui contribue à en faire une source sûre de fourrage. En Inde également, la plante sert de fourrage et elle est semée pour lutter contre la désertification ; dans le nord de l'Australie, on la cultive comme plante fourragère. Ses feuilles sont consommées en période de famine dans le désert du Thar en Inde.

La racine de *Cenchrus biflorus* est un ingrédient qui figure dans les ordonnances aphrodisiaques traditionnelles.

Propriétés La composition des grains décortiqués de *Cenchrus biflorus* par 100 g est : eau 9,8 g, énergie 1549 kJ (370 kcal), protéines 17,8 g, lipides 8,5 g, glucides 62,3 g, Ca 144 mg, P 270 mg et Fe 22 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La composition en acides aminés essentiels par 100 g de grains décortiqués est : lysine 214 mg, méthionine 393 mg, phénylalanine 926 mg, thréonine 658 mg, valine 1052 mg, leucine 2745 mg et isoleucine 892 mg (FAO, 1970). Les teneurs en protéines et lipides sont élevées par rapport à d'autres céréales.

Les plantes de *Cenchrus biflorus* au Sahel contiennent : protéines brutes 10,0%, fibres brutes 34,6%, lipides bruts 1,5%, extrait sans azote 42,8%, P 0,35%, K 4,18%, Ca 0,28%, Mg 0,21% et Na 0,01%.

En dépit de son utilité, *Cenchrus biflorus* passe souvent pour une adventice nuisible ; ses inflorescences épineuses peuvent blesser les hommes ainsi que le bétail et causer des infections.

Botanique Graminée annuelle, en touffes lâches, à tiges (chaumes) ascendantes jusqu'à 1 m de haut. Feuilles alternes, simples et entières ; ligule constituée d'une ligne de poils ; limbe linéaire, plat, de 2–25(–35) cm × 2–7(–10) mm, apex filiforme. Inflorescence : panicule spiciforme de 2–15 cm × 9–12 mm, avec 1–3 épillets enserrés par un involucre de soies hérissées ; rachis anguleux, sinueux ; involucre ovoïde, de 4–11 mm de long, portant de nombreuses épines, épines internes érigées, soudées à la base, à poils dirigés vers le bas sur l'apex piquant et recourbé, épines externes plus courtes, étalées. Epillet lancéolé de 3,5–6 mm de long, aigu, composé de 2 glumes et généralement de 2 fleurs ; glumes plus courtes que l'épillet ; fleur inférieure mâle ou stérile, à lemme aussi longue que l'épillet, membraneuse, fleur supérieure bisexuée, à lemme aussi longue que l'épillet, légèrement coriace ; étamines 3, ovaire supère, glabre, à 2 stigmates poilus. Fruit : caryopse (grain) comprimé dorsalement, de 2–2,5 mm × 1,5–2 mm.

Le genre *Cenchrus* comprend environ 20 espèces dans les régions tropicales et tempérées chaudes, essentiellement en Afrique et aux Amériques. Il est très proche de *Pennisetum*, qui se distingue par ses soies involucrales internes non épineuses et libres jusqu'à la base.

Les épillets épineux de *Cenchrus biflorus* s'accrochent aux poils des animaux et aux vêtements, facilitant ainsi amplement leur dispersion. *Cenchrus biflorus* a une photosynthèse en C_4.

Ecologie On trouve habituellement *Cenchrus biflorus* dans les régions semi-arides et arides où les précipitations annuelles atteignent 250–650 mm, jusqu'à 1300 m d'altitude, généralement sur des sols sableux secs et dans des zones cultivées, surpâturées ou autrement perturbées. Il est extrêmement abondant au Sahel et au sud du Sahara, où il peut former des peuplements massifs. Une étude menée dans l'ouest du Niger a montré qu'il était devenu beaucoup plus abondant et dominant à la fin des années 1980 qu'il ne l'était au début des années 1960.

Gestion *Cenchrus biflorus* peut être multiplié par graines. La température optimale pour la germination des graines est de 35°C. En Afrique tropicale, les graines sont récoltées dans la nature. Les épillets épineux s'égrènent facilement à maturité et on attend souvent

qu'ils tombent, avant d'en faire des tas à l'aide d'une poignée de paille, ou bien de les ratisser avec un grand "peigne" muni d'un manche. Les plantes peuvent être battues avec un bâton au cas où tous les épillets ne seraient pas tombés. Les épillets sont pilés au mortier et les grains sont séparés par vannage. Dans la région du lac Tchad, les inflorescences sont coupées au couteau, puis les grains sont séchés, battus et vannés. Au Kordofan (Soudan), les grains sont décortiqués en les frottant entre deux morceaux de cuir.

Ressources génétiques et sélection L'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, Ethiopie, conserve 10 entrées de *Cenchrus biflorus*. Etant donné l'ampleur de sa répartition et son abondance, *Cenchrus biflorus* n'est certainement pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Cenchrus biflorus* produit un grain très nutritif, ayant une teneur exceptionnellement élevée en protéines et lipides. Autrefois, il était important en tant que céréale sauvage, mais à l'heure actuelle son rôle dans l'alimentation humaine semble se limiter aux périodes de disette. Il a toutefois conservé une certaine importance comme fourrage, en particulier grâce à sa persistance du début à la fin de la saison sèche. Il y a peu de chances pour que *Cenchrus biflorus* gagne du terrain à l'avenir, essentiellement à cause du caractère épineux de ses épillets qui s'accrochent aux vêtements, blessant ainsi hommes et bêtes, et qui font souvent passer la plante pour une adventice nuisible.

Références principales Burkill, 1994; Clayton & Renvoize, 1982; Naegele, 1977; National Research Council, 1996; Phillips, 1995.

Autres references Burkill, 1994; Clayton & Renvoize, 1982; Naegele, 1977; National Research Council, 1996; Phillips, 1995.

Auteurs M. Brink

CENCHRUS PRIEURII (Kunth) Maire

Protologue Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris, sér. 2, 3: 523 (1931).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 34$

Origine et répartition géographique *Cenchrus prieurii* est réparti dans la zone sahélienne depuis la Mauritanie et le Sénégal jusqu'à l'Ethiopie ; on le trouve aussi en Arabie, au Pakistan et dans le nord de l'Inde.

Usages Le grain de *Cenchrus prieurii* constitue un aliment important pour certains nomades du désert ; c'est un aliment de famine en Afrique et en Inde. Les grains écrasés ou moulus sont transformés en bouillie. En Inde, ils sont consommés crus et sont utilisés, mélangés à du mil, pour la fabrication du pain.

Cenchrus prieurii est apprécié en pâturage ; il convient également pour le foin et l'ensilage. Il persiste jusqu'à la fin de la saison sèche, ce qui le rend important en tant que source sûre de fourrage. Dans le nord du Nigeria, *Cenchrus prieurii* est cultivé comme plante fourragère.

Propriétés La valeur fourragère des plantes de *Cenchrus prieurii* au Sahel est la suivante : protéines brutes 9,2%, fibres brutes 37,1%, lipides bruts 1,8%, extrait non azoté 42,8%, P 0,15%, K 3,36%, Ca 0,23%, Mg 0,19% et Na 0,02%. On ne dispose d'aucune information sur les caractéristiques nutritionnelles des grains.

Botanique Graminée annuelle, en touffes lâches, avec tiges (chaumes) jusqu'à 80 cm de haut. Feuilles alternes, simples et entières ; ligule constituée d'une ligne de poils ; limbe linéaire, plat, de 10–30 cm × 3,5–10 mm, finement aigu. Inflorescence : panicule spiciforme cylindrique, de 5–12 cm × 2–4 cm, avec 1–2 épillets enserrés par un involucre de longues soies ; rachis anguleux, scabre, sinueux ; involucre constitué de nombreuses soies fines, scabres, de 15–27 mm de long et portant des épines dirigées vers le haut, dépassant largement l'épillet, soudées à la base. Epillet lancéolé, de 4–5 mm de long, aigu, composé de 2 glumes et généralement de 2 fleurs ; glumes plus courtes que l'épillet ; fleur inférieure mâle ou stérile, avec une lemme aussi longue que l'épillet, membraneuse ; fleur supérieure bisexuée, avec une lemme aussi longue que l'épillet, finement coriace. Fruit : caryopse (grain) comprimé dorsalement.

Le genre *Cenchrus* comprend environ 20 espèces dans les régions tropicales et tempérées chaudes, essentiellement en Afrique et aux Amériques. Il est très proche de *Pennisetum*, qui se distingue par des soies involucrales internes non épineuses et libres jusqu'à la base.

Cenchrus prieurii a une photosynthèse en C_4.

Ecologie On trouve *Cenchrus prieurii* dans les régions semi-arides et arides avec des précipitations moyennes de 200–500 mm par an, dans les endroits sablonneux ouverts jusqu'à 1000 m d'altitude. Une étude menée dans l'ouest du Niger a montré que *Cenchrus prieurii* était devenu beaucoup plus abondant et dominant à la fin des années 1980 qu'il ne l'était au début des années 1960.

Gestion *Cenchrus prieurii* est récolté dans la nature. Le poids de 1000 graines est de 0,2 g.

Ressources génétiques et sélection Quelques entrées de *Cenchrus prieurii* sont conservées en Australie (Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre, Biloela, Queensland, 3 entrées) ainsi qu'au Royaume-Uni (Welsh Plant Breeding Station, Institute of Grassland and Environmental Research, Aberystwyth, Pays de Galles, 2 entrées). Etant donné l'étendue de sa répartition, *Cenchrus prieurii* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Cenchrus prieurii* a une certaine valeur en tant que source d'aliment en période de disette et que plante fourragère, mais il y a très peu de chances pour qu'il gagne de l'importance à l'avenir. Il convient de mener des recherches pour vérifier si la valeur nutritionnelle du grain de *Cenchrus prieurii* est aussi élevée que celle de *Cenchrus biflorus* Roxb.

Références principales Bogdan, 1977; Burkill, 1994; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Peyre de Fabrègues, 1992; Phillips, 1995.

Autres references Bartha, 1970; Breman & de Ridder, 1991; Clayton, 1972; Freedman, undated.

Auteurs M. Brink

CICER ARIETINUM L.

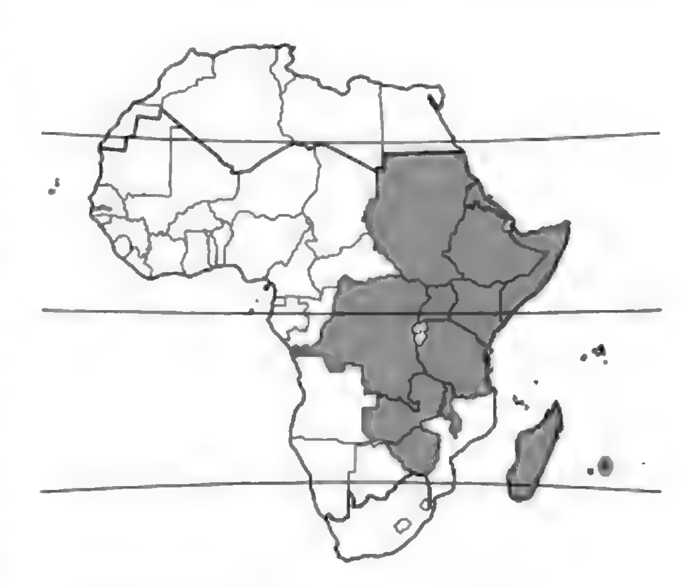
Protologue Sp. pl. 2: 738 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 16$

Noms vernaculaires Pois chiche (Fr). Chickpea, Bengal gram, gram, garbanzo (En). Grão de bico, gravanço, ervanço (Po). Mdengu (Sw).

Origine et répartition géographique Le pois chiche est inconnu à l'état sauvage. On pense que ses origines se trouveraient dans le sud-est de la Turquie et dans les zones voisines de Syrie et d'Iran. Les restes les plus anciens de graines de pois chiche remontent à 7000 avant J.-C. (Syrie et Turquie). Le pois chiche s'est diffusé progressivement vers l'ouest de la Méditerranée, ainsi qu'en Asie orientale et australe et en Afrique de l'Est. Il a atteint le sous-continent Indien avant 2000 avant J.-C. La culture du pois chiche connaît une expansion dans les pays où son introduction est récente, comme l'Australie, la Nouvelle-Zélande, les Etats-Unis et le Canada. En Afrique tropicale, il est cultivé principalement en Afrique de l'Est



Cicer arietinum – planté

(Soudan, Erythrée, Ethiopie, Kenya, Tanzanie) et au Malawi ; il est surtout cultivé dans les régions où la saison froide est marquée. Le Lesotho et l'Afrique du Sud ont récemment introduit le pois chiche à titre expérimental. Le pois chiche se rencontre semi-naturalisé, comme échappé des cultures, par ex. en Tanzanie.

Usages Le pois chiche se cultive avant tout pour ses graines mûres qui s'emploient dans l'alimentation humaine. Consommées seules ou avec des céréales, elles constituent un plat d'accompagnement sous forme de sauce ou de soupe. En Ethiopie, des sauces ("wot") produites à base de graines broyées ("shiro") ou cassées ("kik") se consomment généralement avec l' "injera" (grande crêpe utilisée comme pain). Le pois chiche entre également dans la composition d'aliments de sevrage. Les graines immatures se mangent crues ou grillées et salées en amuse-gueule. En Inde, on mange la graine sèche entière cuite à l'eau ou préparée sous forme de dal, confectionné en cassant les graines et en enlevant l'enveloppe. Dans les pays méditerranéens, le pois chiche est mangé entier en salade, ou dans des ragoûts, et la farine mêlée à la pâte de sésame donne une entrée réputée, le hoummous. Les pois chiches en conserve sont appréciés aux Etats-Unis et en Europe.

En Inde, les jeunes pousses de pois chiche se mangent comme légume. Les graines brisées et les résidus provenant de la production de dal s'emploient en alimentation animale, la paille sert de fourrage et les tiges séchées ainsi que les racines sont utilisées comme combustible pour faire la cuisine. L'amidon de pois chiche convient à l'apprêt du textile ; il donne aux

vêtements de soie, de laine ou de coton une légère touche de finition ; il s'emploie également dans la fabrication du contreplaqué. Une teinture analogue à l'indigo s'obtient à partir des feuilles de pois chiche.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale annuelle de pois chiche et la superficie récoltée sont restées relativement stables entre 1961 et 2003, la première avoisinant les 7 millions de t et l'autre les 10 millions d'ha. La production en 1999–2003 s'est élevée à 7,9 millions de t par an, sur 10,3 millions d'ha. Les principaux pays producteurs étaient l'Inde (4,1 millions de t par an sur 6,3 millions d'ha), la Turquie (600 000 t sur 600 000 ha), le Pakistan (500 000 t sur 1,1 million d'ha), le Canada (250 000 t sur 200 000 ha), le Mexique (250 000 t sur 150 000 ha) et l'Australie (200 000 t sur 200 000 ha). La production annuelle en Afrique subsaharienne était d'environ 280 000 t sur 430 000 ha, les principaux producteurs étant l'Ethiopie (168 000 t sur 191 000 ha), le Malawi (35 000 t sur 88 000 ha), le Soudan (25 000 t sur 13 000 ha), la Tanzanie (25 000 t sur 63 000 ha) et le Kenya (20 000 t sur 55 000 ha). En Afrique tropicale, la superficie et la production de pois chiche ont connu récemment une augmentation, alors que dans le nord de l'Afrique elles étaient en baisse. En Ethiopie, le déclin a été stoppé et inversé en raison de la mise sur le marché de cultivars améliorés, ainsi que de l'ouverture des marchés et d'actions intenses de vulgarisation. En Zambie, ce sont des producteurs commerciaux qui cultivent le pois chiche à proximité des zones urbaines.

Les échanges mondiaux de pois chiches sont en régulière progression : ils sont passés de 100 000–150 000 t par an dans les années 1970 à près de 700 000 t par an entre 1998–2002. Les principaux exportateurs en 1998–2002 étaient l'Australie (192 000 t par an), le Mexique (155 000 t), la Turquie (114 000 t), le Canada (85 000 t) et l'Iran (75 000 t). L'Ethiopie a exporté près de 50 000 t en 2002, mais en 1998–2001 les quantités étaient insignifiantes. Les exportations depuis la Tanzanie, qui avoisinaient les 20 000 t en 2002, étaient inférieures à 10 000 t par an en 1998–2001. Pendant cette période, les principaux importateurs étaient l'Inde (183 000 t par an), le Pakistan (98 000 t), l'Espagne (57 000 t), l'Algérie (43 000 t) et le Bangladesh (40 000 t). Les importations en Afrique subsaharienne ont été très faibles.

Propriétés La composition de graines mûres crues de pois chiche, par 100 g de partie comestible, est : eau 11,5 g, énergie 1525 kJ (364 kcal), protéines 19,3 g, lipides 6,0 g, glucides 60,7 g, fibres alimentaires 17,4 g, Ca 105 mg, Mg 115 mg, P 366 mg, Fe 6,2 mg, Zn 3,4 mg, vitamine A 67 UI, thiamine 0,48 mg, riboflavine 0,21 mg, niacine 1,5 mg, vitamine B_6 0,54 mg, folates 557 μg et acide ascorbique 4,0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 185 mg, lysine 1291 mg, méthionine 253 mg, phénylalanine 1034 mg, thréonine 716 mg, valine 809 mg, leucine 1374 mg et isoleucine 828 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 2593 mg, acide oléique 1346 mg, acide palmitique 501 mg, acide linolénique 101 mg et acide stéarique 85 mg (USDA, 2004). La teneur en protéines du pois chiche, plus faible que celle de la plupart des autres légumes secs, est compensée par une meilleure digestibilité. Parmi les facteurs antinutritionnels, il faut citer des inhibiteurs de trypsine, les hémagglutinines, les tanins et les oligosaccharides.

Falsifications et succédanés En Inde, le pois chiche est parfois remplacé frauduleusement par la gesse (*Lathyrus sativus* L.), qui est moins chère mais potentiellement toxique.

Description Plante herbacée annuelle, étalée à érigée, atteignant 100 cm de haut ; tige simple ou ramifiée dès la base ; racine pivotante atteignant 1–2 m de profondeur, racines secondaires pour la plupart étalées à 15–30 cm de profondeur dans le sol. Feuilles alternes, imparipennées, à (7–)11–15(–17) folioles ; stipules 2–5-fides, ovales à triangulaires, de 3–5 mm × 2–4 mm ; rachis de 2,5–8 cm de long, cannelé sur le dessus ; folioles sessiles, ovales à elliptiques, de 5–20 mm × 2–15 mm, à bords fortement dentés dans les deux tiers supérieurs, pubescentes glandulaires des deux côtés. Inflorescence réduite à une fleur axillaire unique ; pédoncule de 3–20(–37) mm de long ; bractées 1–3, linéaires à triangulaires, atteignant 3 mm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 3–12 mm de long, récurvé au moment de la fructification ; calice campanulé, tube de 3–4 mm de long, dents lancéolées, de 4–5 mm de long, à nervures médianes prononcées ; corolle blanche, rose, violacée ou bleue, étendard obovale, de 8–10 mm × 7–10(–17) mm, muni d'un large onglet, ailes obovales de 6–9 mm × environ 4 mm, auriculées, carène de 6–8 mm × environ 3 mm munie d'un onglet long de 2–3 mm ; étamines 10, 9 réunies sur 4–5 mm et 1 libre, anthères basi-dorsifixes ;



Cicer arietinum – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, graines.
Source: PROSEA

ovaire supère, sessile, ovale, de 2–3 mm × 1–1.5 mm, 1-loculaire, style incurvé, de 3–4 mm de long, stigmate petit. Fruit : gousse renflée rhomboïde-ellipsoïde de 12–35 mm × 8–20 mm, densément pubescente glanduleuse, à 1–2(–4) graines. Graines globuleuses à anguleuses obovoïdes, de 5–14 mm × 4–10 mm, à rainure médiane et à bec bien distinct surplombant le hile, crème à brunes, vertes ou noires, surface lisse ou ridée. Plantule à germination hypogée ; les deux premières feuilles écailleuses.

Autres données botaniques Le genre *Cicer* comprend 43 espèces, 9 annuelles et 34 vivaces. Les espèces sauvages de *Cicer* les plus étroitement apparentées à *Cicer arietinum* sont les annuelles *Cicer reticulatum* Ladiz. et *Cicer echinospermum* P.H.Davis. *Cicer reticulatum*, espèce rare originaire de Turquie, est parfois considérée comme une sous-espèce de *Cicer arietinum* ; sur les plans morphologique, biochimique et caryologique, il est très semblable et s'hybride sans problème avec lui. On a également produit des hybrides fertiles par croisement entre pois chiche et *Cicer echinospermum*, malgré l'existence de barrières de fertilité. Les autres espèces apparentées sont *Cicer bijugum* Rech.f., *Cicer chorassanicum* (Bunge) Popov, *Cicer cuneatum* Hochst. ex A.Rich., *Cicer judaicum* Boiss., *Cicer pinnatifidum* Jaub. & Spach, *Cicer yamashitae* Kitam. (toutes des annuelles) et *Cicer anatolicum* Alef. (une vivace), et certaines d'entre elles ont servi en croisement avec le pois chiche cultivé.

Chez le pois chiche cultivé, on distingue couramment 2 groupes principaux : les types Kabuli à grosses graines de couleur crème, et les types Desi à petites graines de couleur sombre, lisses ou ridées. Il existe également des cultivars intermédiaires. Les pois chiches du type Desi, qui sont des plantes buissonnantes à folioles et fleurs relativement petites, à tiges contenant des pigments d'anthocyane violacés et à fleurs d'un bleu violet, sont cultivés surtout en Asie méridionale et en Ethiopie. Les types Kabuli, à croissance érigée et à fleurs blanches, sont cultivés en Méditerranée. Les cultivars du type Kabuli cuisent plus vite et sont plus pauvres en fibres alimentaires que ceux du type Desi. La couleur des graines est une caractéristique importante du pois chiche car elle détermine sa qualité et son acceptation dans de nombreux pays. Ce sont les pois chiches bruns du type Desi qui sont les plus prisés en Afrique de l'Est.

Croissance et développement Les plantules lèvent généralement entre 7–15 jours après le semis. La floraison débute au bout de 30–60 jours. Le pois chiche est autogame et présente moins de 2% d'allogamie. Le cycle cultural est normalement de 3–6 mois, mais comme le pois chiche est indéterminé par nature, il peut continuer à croître aussi longtemps que l'humidité ne constitue pas un facteur limitant. Sa racine pivotante robuste et profonde sert à la plante d'organe pour emmagasiner de l'eau pendant son développement, ce qui prolonge sa croissance pendant la saison sèche. La nodulation du pois chiche est réalisée efficacement par *Mesorhizobium ciceri* et par *Mesorhizobium mediterraneum*.

Ecologie Le pois chiche est cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes. Sa production est concentrée dans la saison froide et sèche des zones tropicales semi-arides. Il pousse à partir du niveau de la mer jusqu'au-dessus de 2500 m d'altitude, mais il n'est pas adapté aux régions tropicales chaudes et humides de basse altitude, où souvent il ne fleurit pas. En Afrique de l'Est, il se cultive

à 1200–2700 m d'altitude, dans des régions où la pluviométrie annuelle est de 500–1800 mm et la température moyenne de 10–25°C au cours de la période de croissance. Avec ces conditions, il lui faut 120–150 jours pour mûrir. Il réussit bien lorsqu'il est planté pendant la saison des pluies, à condition que le champ soit bien drainé ; l'humidité favorise toutefois le développement de l'ascochytose. Des précipitations en cours de floraison gênent la production de graines. Il tolère moyennement à considérablement la sécheresse. Le pois chiche est généralement une plante de jours longs à réaction quantitative. Les sols ont besoin d'un bon drainage, et d'un pH de 5–7 ou davantage. La salinité n'est pratiquement pas tolérée, voire pas du tout. Les terres vont du sol sablonneux au limon sableux et aux vertisols. En Ethiopie et au Kenya, le pois chiche se cultive essentiellement vers la fin de la saison des pluies sur des vertisols dont l'humidité diminue.

Multiplication et plantation Le pois chiche se multiplie par graines. Les graines se conservent 4–5 ans à une température de 4°C. Le poids de 1000 graines varie considérablement, depuis 20 g pour certains des types Desi, à plus de 600 g pour les types Kabuli plus gros. Les graines ne présentent pas de dormance. En raison de la grande variabilité de la taille des graines, les densités de semis peuvent aller de 30–40 kg/ha pour les cultivars à petites graines, jusqu'à 90–100 kg/ha pour ceux à grosses graines. En Afrique de l'Est, les graines se sèment à la volée avant d'être enfouies par un labour avec des animaux de trait. En Asie du Sud, il est courant de ménager des espacements de 25–30 cm entre les lignes et de 10–30 cm entre plantes sur la ligne. La culture du pois chiche se pratique seule ou en association avec du lin, du sorgho ou d'autres espèces. Il se sème souvent comme culture dérobée, par ex. dans les rizières.

Gestion Le pois chiche est très sensible à la concurrence des adventices, particulièrement au cours des 4–6 premières semaines après le semis. La lutte contre les mauvaises herbes s'effectue d'habitude par des moyens mécaniques. Les populations d'adventices peuvent être élevées si la culture ne reçoit des pluies que tard après le semis ; dans ce cas, il est nécessaire de désherber immédiatement. Le recours à des engrais phosphatés à forte teneur en soufre est conseillé, mais normalement on n'emploie pas d'engrais inorganiques. Au Soudan, certains agriculteurs épandent du phosphate diammonique (DAP) à raison de 100 kg à l'ha. Au Soudan et en Inde, la culture du pois chiche se pratique parfois sous irrigation. En Ethiopie, le pois chiche se cultive en rotation avec des céréales, le tef surtout (*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter) ; en Inde, il est également cultivé en rotation avec des céréales dont le mil, le sorgho, le blé, l'orge et le riz.

Maladies et ravageurs Au niveau mondial, la maladie la plus importante pour le pois chiche est l'ascochytose, provoquée par *Ascochyta rabiei*, transmise par la graine ; toutefois, cette maladie a moins d'importance en Ethiopie, sauf quand les semis s'effectuent au début de la saison des pluies. Les maladies importantes en Ethiopie, au Soudan et en Erythrée sont la fusariose provoquée par *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*, la pourriture sèche des racines causée par *Macrophomina phaseolina* (*Rhizoctonia bataticola*), et la pourriture du collet provoquée par *Sclerotium rolfsii*. Les mesures de lutte contre la fusariose, qui est transmise par le sol et par la graine, sont le recours à des semences issues de plantes exemptes de maladies, l'enrobage avec des fongicides et l'emploi de cultivars résistants. La rotation des cultures n'est pas efficace, parce que le champignon survit longtemps dans la terre. Contre la pourriture sèche des racines et la pourriture du collet, les mesures de lutte sont le recours aux semences exemptes de maladies, l'enlèvement des résidus de culture et l'élimination des adventices hôtes. La rotation des cultures ne semble pas être un moyen de lutte efficace, car les deux agents pathogènes ont de très nombreux hôtes. Une résistance à *Macrophomina phaseolina* a été observée, mais la maladie peut toucher même les cultivars résistants si ceux-ci sont cultivés pendant longtemps sur un sol contaminé.

Des nématodes à galles (*Meloidogyne javanica*) constituent un parasite important du pois chiche. Un foreur des gousses (*Helicoverpa armigera*) et un ver gris (*Agrotis ipsilon*) sont des insectes ravageurs courants du pois chiche en Afrique de l'Est et en Inde. Des insecticides tels que l'endosulfan sont recommandés pour lutter contre ces insectes. Des pratiques de lutte intégrée des ravageurs (IPM), qui comprennent le recours aux cultivars tolérants, la surveillance des populations de ravageurs, les biopesticides et les prédateurs naturels, ont été mises au point pour diminuer la dépendance aux insecticides. Les bruches *Callosobruchus* spp. constituent des ravageurs importants du pois chiche stocké.

Récolte Les graines mûres sont récoltées

lorsque l'extrémité des gousses situées sur le rameau le plus élevé de la plante se met à jaunir. La récolte s'effectue à la main en arrachant les plantes, après quoi on les fait sécher au soleil en plein champ. Dans les endroits où la récolte se fait de façon mécanisée, on préfère un port de plante haut et érigé.

Rendements En Afrique subsaharienne, le rendement moyen en pois chiche est inférieur à 1 t/ha, excepté sous irrigation au Soudan, où l'on obtient des moyennes allant jusqu'à 1,9 t/ha. Dans les hauts plateaux du centre de l'Ethiopie, les paysans récoltent plus de 2 t/ha, grâce à un milieu favorable à la croissance de la plante, mais la recherche indique que dans cette région, le rendement potentiel est de 5,5 t/ha. En Inde, le rendement moyen est également inférieur à 1 t/ha.

Traitement après récolte Une fois que les gousses récoltées ont été séchées au soleil pour ne contenir que 12–13% d'humidité, on les emporte à l'aire de battage. En Ethiopie, en Erythrée et au Soudan, le battage se fait par dépiquage à l'aide d'animaux de trait. Le battage des petites récoltes se fait au bâton. Les graines sont séparées des cosses par vannage. Les graines nettoyées sont conservées dans des greniers ou emportées au marché. Les attaques de bruches rendent le stockage difficile au-delà de 6 mois. Les cultivateurs éthiopiens mélangent leurs pois chiches à du tef pour conserver les graines plus longtemps. Les graines destinées au semis peuvent être protégées avec des insecticides à base de pyrèthre.

Ressources génétiques L'ICRISAT (de Patancheru, en Inde) possède une collection d'environ 17 000 entrées de pois chiche, dont un échantillon représentatif ("core collection") de 1956 entrées a été formé. D'autres grandes collections sont conservées par l'ICARDA (à Alep, en Syrie, environ 10 000 entrées), en Australie (Australian Temperate Field Crops Collection de Horsham, 7700 entrées) et aux Etats-Unis (USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station de Pullman, Washington, 4400 entrées). L'ICRISAT possède 58 entrées d'espèces sauvages de *Cicer* et l'ICARDA 268. Mais de nombreuses espèces originaires d'Asie centrale ne sont pas encore représentées dans ces collections. En Ethiopie, pays considéré comme un centre secondaire de diversité du pois chiche, l'Institute of Biodiversity Conservation possède la plus vaste collection d'Afrique (près de 1000 entrées). Le pois chiche se comporte de façon orthodoxe au stockage et peut se conserver sur de longues périodes sans perte de viabilité. Pour le stockage à long terme, on a recours à une température de –20°C.

Sélection L'amélioration génétique du pois chiche vise à obtenir des rendements plus élevés et une meilleure résistance aux maladies, aux insectes et aux autres stress tels que la sécheresse, l'asphyxie racinaire et le froid. Des sources de résistance ou de tolérance ont été identifiées pour les maladies (dont l'ascochytose, la fusariose et la pourriture sèche des racines), les insectes ravageurs (dont le foreur des gousses) et les facteurs de stress abiotiques (tels que le froid et la sécheresse). Des cultivars offrant une résistance à l'ascochytose, à la fusariose et au froid ont été mis sur le marché, mais le succès est plus restreint pour la création de cultivars tolérants aux insectes ravageurs. Dans la sélection du pois chiche, on a recours aux techniques conventionnelles pour les plantes autogames. La mutagenèse a été mise en œuvre pour créer une nouvelle variabilité, par ex. pour la résistance à l'ascochytose. Des espèces sauvages de *Cicer* ont été employées dans des programmes d'hybridation interspécifique, mais les espèces vivaces n'ont guère été utilisées dans l'amélioration du pois chiche. Les techniques de croisement du pois chiche sont fastidieuses. Dans le système GCRAI, ce sont l'ICARDA et l'ICRISAT qui contribuent à l'amélioration du pois chiche. Les seuls programmes nationaux importants concernant le pois chiche dans la région subsaharienne sont ceux menés par l'Ethiopie et le Soudan, qui ont fait beaucoup de progrès dans la mise au point de cultivars à haut rendement et résistants aux maladies, destinés à une production commerciale. En Ethiopie, 10 cultivars (5 du type Kabuli et 5 du type Desi) ont été mis sur le marché, et plus de 7 cultivars ont été promus par la vulgarisation pour leur multiplication. A ce jour, le Kenya a mis sur le marché un seul cultivar, issu de ressources génétiques venant de l'ICRISAT.

Des cartes de liaison chez le pois chiche ont été dressées, et les marqueurs moléculaires associés aux locus de caractères quantitatifs pour la résistance à l'ascochytose, la fusariose et d'autres caractères morphologiques ont été situés sur ces cartes. Des plantes transgéniques, qui présentent par ex. des effets inhibiteurs sur le développement de *Callosobruchus* spp. grâce à un gène inhibiteur d'α-amylase issu du haricot commun, ou des effets inhibiteurs sur la croissance des larves de *Helicoverpa armigera* suite à un transfert de gènes de *Bacillus thuringiensis*, ont été obtenues à l'aide d'un trans-

fert de gènes par *Agrobacterium*, ou d'une transformation biolistique.

Perspectives Le pois chiche est une plante bien adaptée aux régions semi-arides d'Afrique, en raison de sa tolérance modérée à élevée à la sécheresse. Dans les pays d'Afrique du Nord, la production est en déclin à cause de la faiblesse de son rendement, comparé aux céréales. En conséquence, d'autres pays d'Afrique, tels que l'Ethiopie, le Soudan et la Tanzanie, ont la possibilité d'augmenter leur production afin de tirer profit des marchés d'Afrique du Nord et du sous-continent Indien. Le pois chiche fait partie des principaux légumes secs qui fournissent des protéines abordables aux populations d'Ethiopie, d'Erythrée et du Soudan ; il faudrait toutefois le promouvoir davantage au Kenya, en Tanzanie et au Malawi. Au Zimbabwe, en Ouganda, en Afrique du Sud et au Lesotho, des essais de pois chiches envoyés par l'ICARDA et l'ICRISAT ont récemment démarré. La création de nouveaux produits alimentaires et de nouvelles recettes va aider à l'accroissement de la consommation du pois chiche en Afrique subsaharienne.

Références principales Bejiga, Eshete & Anbessa, 1996; Haware, 1998; Pope, Polhill & Martins (Editors), 2003; Saxena & Singh (Editors), 1987; Saxena et al. (Editors), 1996; Singh & Saxena, 1999; Singh et al., 1997b; Smithson, Thompson & Summerfield, 1985; Telaye et al. (Editors), 1994; van der Maesen, 1989b.

Autres références Ahmad, 1999; Anbessa & Bejiga, 2002; Bejiga, 1990; Bejiga & Degago, 2000; Bejiga et al., 1998; Choumane et al., 2000; Flandez-Galvez et al., 2003; Gillett et al., 1971; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Joshi et al., 2001; McPhee & Muehlbauer, 2002; Polhill, 1990; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Singh, 1993; Thulin, 1989a; Upadhyaya, Bramel & Singh, 2002; USDA, 2004; van der Maesen, 1972; Westphal, 1974; Williams et al., 1994.

Sources de l'illustration van der Maesen, 1989b.

Auteurs G. Bejiga & L.J.G. van der Maesen

COIX LACRYMA-JOBI L.

Protologue Sp. pl. 2: 972 (1753).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 20$

Noms vernaculaires Larmes de Job, larmilles, herbe à chapelets (Fr). Job's tears, adlay (En). Lágrimas de Job, lágrimas de Nossa Senhora, erva dos rosários (Po). Mtasubihu, mtasbihi (Sw).

Origine et répartition géographique Les larmes de Job sont indigènes de l'Asie du Sud et de l'Est. Elles sont cultivées depuis la nuit des temps, 3000–4000 ans en Inde, et 2000 ans en Chine, et occupaient une place très importante avant que le maïs et le riz ne deviennent des aliments de base universels. Actuellement, elles sont cultivées en tant que céréale secondaire dans toutes les régions tropicales et subtropicales, notamment en Asie. Les plantes échappées des cultures poussent comme des adventices. En Afrique, elles sont naturalisées dans la plupart des pays mais seulement très rarement cultivées (par ex. au Liberia).

Usages Les types dont les faux fruits ont une coque tendre peuvent être facilement décortiqués et leurs gros grains sont consommés de la même manière que le riz, seuls ou mélangés avec celui-ci. Ils peuvent le remplacer dans tous les produits alimentaires. Les grains peuvent également être grillés avant d'être décortiqués, puis utilisés dans des bouillies, des gâteaux, des soupes et autres aliments, ou dans la préparation de bonbons. La pâte obtenue à partir de la farine ne lève pas à cause de l'absence de gluten. En boulangerie, un bon mélange est constitué de 70% de farine de blé et de 30% de farine de larmes de Job. Les grains crus sont sucrés et sont souvent consommés en amuse-gueule. En Afrique, les larmes de Job passent pour un aliment de famine. Elles servent à élaborer tant des boissons alcoolisées que non alcoolisées. Une bière fabriquée à partir des grains pilés est appréciée en Inde chez les tribus des montagnes et aux Philippines.

Le grain entier ainsi que le son servent à nourrir la volaille, et la farine peut remplacer la farine de maïs dans les aliments pour la volaille. Les larmes de Job sont souvent employées comme fourrage, en particulier pour les bovins et les chevaux. Elles conviennent très bien à l'ensilage, et on utilise la paille et les feuilles pour recouvrir les toits.

Les grains et la farine sont très digestes et sont prescrits aux personnes de santé fragile. Ils passent pour avoir des propriétés médicinales grâce à leur activité diurétique, dépurative, anti-inflammatoire et anti-tumorale. On boit une décoction de feuilles en cas de maux de tête, de rhumatisme et de diabète. Le jus de la tige est appliqué contre les piqûres d'insectes. Une décoction de racines sert de vermifuge ainsi qu'à soigner la dysenterie, la gonorrhée et

les troubles menstruels.
Presque partout où poussent les larmes de Job, les faux fruits des types sauvages, à coque dure et décoratifs, sont utilisés comme perles pour les colliers, les rosaires, les hochets, les rideaux, etc. ; en Afrique, ils sont souvent portés lors de cérémonies rituelles et religieuses. L'inflorescence entière est parfois utilisée dans des compositions de fleurs séchées.

Propriétés Le grain entier contient par 100 g de partie comestible : eau 8,9 g, énergie 1394 kJ (333 kcal), protéines 10,4 g, lipides 5,3 g, glucides 66,5 g et fibres 10,5 g. Le grain décortiqué renferme par 100 g de partie comestible : eau 11,6 g, énergie 1511 kJ (361 kcal), protéines 14,8 g, lipides 4,9 g, glucides 66,9 g, fibres 0,5 g, Ca 47 mg, P 254 mg, Fe 6,0 mg, β-carotène 0 mg, thiamine 0,26 mg, riboflavine 0,19 mg et niacine 4,7 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels par 100 g de protéines (16 g de N) est la suivante : tryptophane 0,5 g, lysine 1,9 g, méthionine 2,6 g, phénylalanine 4,9 g, thréonine 3,0 g, valine 5,7 g, leucine 13,6 g et isoleucine 3,9 g (Busson, 1965).
La racine contient du coïxol, qui est analgésique et sédatif. Des extraits méthanoliques de grains ont montré un effet antiprolifératif sur des cellules cancéreuses du poumon in vitro et in vivo et pourraient réduire le risque d'oncogenèse du poumon provoquée par le tabac. Les grains pourraient également avoir un effet bénéfique dans le traitement des allergies.

Botanique Graminée érigée, vivace, à nombreuses talles, atteignant 3 m de haut, souvent cultivée comme annuelle ; tige (chaume) remplie de moelle, glabre, ramifiée dans la partie supérieure. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine courte, glabre ou avec de longs poils à l'apex ; ligule courte et membraneuse ; limbe linéaire à ovale-lancéolé, de 8–100 cm × 1,5–7 cm, base arrondie à presque cordée, apex aigu, bords rugueux, face supérieure lisse ou scabre, nervure médiane proéminente. Inflorescences à l'aisselle des feuilles supérieures, solitaires ou 2–7-fasciculées et disposées comme des panicules, sur un pédoncule de 3–6 cm de long, composées de 2 grappes unisexuées ; grappe femelle enserrée par une cupule creuse, dure comme l'os, globuleuse à ovoïde-ellipsoïde de 5–15 mm de long, brillante, blanche, brun pâle, grise, bleuâtre ou noire, avec un épillet sessile accompagné de 2 pédicelles stériles ; grappe mâle de 3–5 cm de long, exserte de l'orifice de la cupule, avec environ 10 épillets disposés par deux ou trois, dont un pédicellé, les autres sessiles. Epillet femelle à 2 fleurs, à glumes orbiculaires, la fleur inférieure réduite à une lemme orbiculaire, la fleur supérieure à lemme et paléole membraneuses et à ovaire supère à 2 stigmates exserts de l'orifice de la cupule ; épillet mâle lancéolé à ellipsoïde, de 7–8 mm de long, à 1–2 fleurs, glume inférieure ailée, glume supérieure carénée, chaque fleur à lemme et paléole membraneuses et à 3 étamines. Fruit : caryopse (grain) enserré par la cupule (la coque du faux fruit), globuleux, rouge foncé chez les types à coque dure, marron pâle chez les types à coque tendre.
Le genre *Coix* comprend environ 5 espèces très proches, toutes originaires d'Asie, mais certaines ont été introduites ailleurs. Sur la base essentiellement des caractéristiques du faux fruit, 4 variétés ont été distinguées chez *Coix lacryma-jobi*, mais seule la var. *lacryma-jobi* est présente en Afrique ; elle se caractérise par de faux fruits ovoïdes, durs et lisses. La plupart des informations agricoles (en dehors de l'Afrique) concernent la var. *ma-yuen* (Rom. Caill.) Stapf, à faux fruits ovoïdes à piriformes,



Coix lacryma-jobi – *1, tige en fleurs ; 2, inflorescence mâle ; 3, épillet mâle ; 4, inflorescence femelle avec cupule partiellement enlevée.*
Source: PROSEA

relativement tendres et striés ; c'est elle qui est cultivée comme céréale.
Il faut aux larmes de Job environ 1–2 semaines pour germer, en fonction du degré d'humidité du sol. Tant l'autogamie que l'allogamie sont possibles, cette dernière étant normalement prédominante. Le cycle total de culture est de 4–6(–8) mois. Lorsque la majorité des graines sont mûres, la plante commence à sécher. Elle a une photosynthèse en C_4.

Ecologie On la trouve dans la nature dans des endroits marécageux et en bordure de cours d'eau. C'est une plante quantitative de jours courts qui nécessite des températures élevées, des précipitations abondantes et des sols raisonnablement fertiles. Sous les tropiques, on la trouve du niveau de la mer jusqu'à 2000 m d'altitude, en Afrique souvent autour des villages de même que dans des champs abandonnés.

Gestion Les larmes de Job sont généralement multipliées par graines. Le poids de 1000 graines est de 80–90 g. Les graines sont semées, à 5 cm de profondeur, au début des pluies, après un labourage ou un binage du champ. L'espacement entre les lignes est de 40–80 cm, et la densité de semis est de 7–15 kg/ha. Lorsqu'elles se trouvent en culture intercalaire, elles sont semées à la volée ou bien les plantes sont cultivées en bordure de champ. La multiplication par boutures est possible et même recommandée pour la production fourragère. La multiplication par graines permet un enracinement plus profond, et, par conséquent, une meilleure tolérance à la sécheresse et un rendement en grains supérieur.
Un désherbage est nécessaire jusqu'à 60 jours après le semis ou jusqu'à ce que la plante ait atteint 40 cm de hauteur. En général, les plantes ne réclament pas beaucoup de soins, mais lorsqu'elles sont jeunes elles ont besoin d'eau en abondance. Elles réagissent bien à l'apport de fumier ; en revanche, les engrais chimiques ou les insecticides ne sont pas employés.
La maladie la plus grave pour les larmes de Job est le charbon (*Ustilago coicis*) qui détruit les ovaires. Le charbon peut sérieusement endommager les cultures, c'est la raison pour laquelle un traitement des graines avec des fongicides ou de l'eau chaude (60–70°C) pendant au moins 10 minutes avant le semis est recommandé. Une autre maladie importante est la brûlure des feuilles (*Bipolaris coicis*) ; parmi les mesures de lutte, citons le brûlage des débris végétaux, la pulvérisation de fongicides ainsi que l'emploi de cultivars plus résistants. D'autres maladies attaquent la plante, comme les taches goudronneuses (*Phyllachora coicis*), la rouille (*Puccinia operata*) et *Ustilago lachrymae-jobi* (synonyme : *Sporisorium lachrymae-job*). Les rats, les oiseaux, parfois les sauterelles et les termites peuvent provoquer des pertes considérables.
Les larmes de Job sont normalement récoltées 4–6 mois après le semis, en fonction du cultivar et de la saison. D'ordinaire, on coupe les plantes entières à la base lorsque les grains sont mûrs. Le chaume peut être laissé sur le champ, car il tallera à nouveau par la suite ; les nouvelles feuilles fraîches constituent un excellent fourrage. Le rendement normal de grains décortiqués varie de 2–4 t/ha. La perte au décorticage est de 30–50%. Si la plante est cultivée pour le fourrage, plusieurs coupes par an sont possibles.
Après le battage et le décorticage, qui sont effectués à la main ou à l'aide des mêmes outils que ceux utilisés pour le riz, les grains sont mis à sécher au soleil sur des nattes. En conditions humides, la conservation des grains est limitée, mais elle est meilleure pour les grains en coque que pour les grains décortiqués.

Ressources génétiques et sélection Les collections les plus importantes de ressources génétiques de larmes de Job sont détenues en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), Beijing, 87 entrées) et aux Philippines (Institute of Plant Breeding, University of the Philippines Los Baños (UPLB), College, Laguna, 31 entrées). La plus grande diversité des formes sauvages se situe en Inde et au Myanmar, et celle des plantes cultivées en Asie du Sud-Est. Au fil du temps, les larmes de Job ont été sélectionnées par les agriculteurs pour un décorticage facile, ce qui a donné la var. *mayuen*. Toutefois, le cycle de végétation de la plante est relativement long, elle montre une maturité irrégulière et des rendements variables. Néanmoins, sa grande variabilité ouvre des perspectives pour des programmes de sélection, par ex. afin d'obtenir une résistance contre la maladie du charbon. Au Japon, la sélection est axée sur son utilisation comme plante fourragère. Au Brésil, un cultivar "nain" à fort rendement, probablement en provenance du Japon, a été sélectionné et diffusé.

Perspectives Bien qu'elles soient très appréciées localement, les larmes de Job ne cessent de voir leur popularité baisser au profit de céréales plus rentables, essentiellement le maïs et le riz. Cependant, comme l'espèce est moins sensible aux maladies et aux ravageurs, qu'elle

peut être cultivée là où d'autres espèces ont du mal à pousser, qu'elle ne demande pas beaucoup de soins, qu'elle a une valeur nutritive élevée et des propriétés médicinales prometteuses, les larmes de Job méritent plus d'attention de la part de la recherche.

Références principales Burkill, 1994; Chang, Huang & Hung, 2003; Clayton & Renvoize, 1982; Mello et al., 1995; van den Bergh & Iamsupasit, 1996.

Autres references Busson, 1965; Chang & Hwang, 2002; Gurib-Fakim, Guého & Bissoondoyal, 1997; Hsu et al., 2003; Leung, Busson & Jardin, 1968; Naku Mbumba, Walangululu & Basiloko, 1984; Neuwinger, 2000; Numata et al., 1989; Purseglove, 1972; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Sources de l'illustration van den Bergh & Iamsupasit, 1996.

Auteurs P.C.M. Jansen

Basé sur PROSEA 10: Cereals.

CORDEAUXIA EDULIS Hemsl.

Protologue Bull. Misc. Inform. Kew : 361 (1907).

Famille Caesalpiniaceae (Leguminosae - Caesalpinioideae)

Nombre de chromosomes $2n = 24$

Noms vernaculaires Yeheb (Fr). Yeheb nut, yeheb bush (En).

Origine et répartition géographique *Cordeauxia edulis* est endémique du sud-est de l'Ethiopie (est de l'Ogaden) et du centre de la Somalie. Il est cultivé à petite échelle en Somalie et à proximité de Voi, au Kenya, où il fut introduit dans les années 1950. Il a été introduit à titre expérimental au Soudan, en Tanzanie, au Yémen, en Israël et aux Etats-Unis.



Cordeauxia edulis – sauvage

Usages Dans sa région d'origine, les graines ("noix de yeheb") de *Cordeauxia edulis* constituent une importante source de nourriture pour les pasteurs nomades, notamment comme aliment de disette pendant les périodes de sécheresse. Elles se consomment crues ou séchées, grillées ou cuites à l'eau. Consommées crues ou séchées, les graines ont un goût aigre, qui devient doux et agréable une fois grillées et qui rappelle celui de la châtaigne. L'eau de cuisson des graines est sucrée et se boit parfois. L'huile des graines est utile pour la confection de savon. On a signalé l'usage des graines comme succédané du café. *Cordeauxia edulis* a la réputation de réguler les sécrétions gastriques et de permettre le traitement des ulcères dus à l'ingestion d'aliments épicés. Il atténuerait l'anémie en augmentant le nombre de globules rouges. Les feuilles servent à préparer une tisane. Pendant la saison sèche, *Cordeauxia edulis* constitue un important fourrage pour les chameaux, les chèvres, les moutons et les bovins, mais ce sont d'autres plantes qui lui sont préférées pendant la saison des pluies. Le pigment rouge des glandes qui se trouvent sur plusieurs parties de la plante crée des combinaisons solides et insolubles de couleur vive avec plusieurs mordants métalliques, et il sert localement à teindre les textiles. Le bois sert quant à lui de combustible.

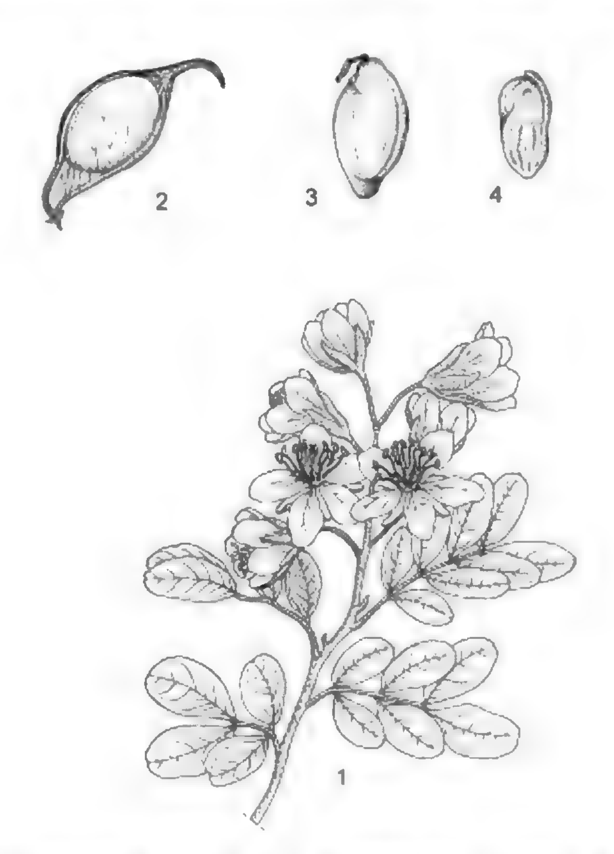
Production et commerce international Les graines de *Cordeauxia edulis* sont surtout consommées localement, mais sont également vendues en ville. La demande excède l'offre en raison de la rapide diminution des populations spontanées. En Ethiopie, les graines sont exportées vers la Somalie et les pays arabes, mais on ne dispose d'aucune donnée chiffrée. Les graines de *Cordeauxia edulis* pourraient devenir un produit d'exportation vers les marchés européens, dans la gamme des fruits secs de dessert.

Propriétés Les graines décortiquées de *Cordeauxia edulis* contiennent par 100 g de partie comestible : eau 11,1 g, énergie 1666 kJ (398 kcal), protéines 10,8 g, lipides 12,0 g, glucides 63,9 g, fibres 1,4 g, Ca 32 mg, P 185 mg, Fe 6,4 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). Si la teneur en protéines est considérablement moins élevée que celle de la plupart des légumes secs, la teneur en lipides est en revanche plus élevée. Divers travaux ont mis en évidence que les protéines ressemblent à celles d'autres légumes secs, car elles contiennent des quanti-

tés considérables et bien équilibrées d'acides aminés essentiels, en particulier de lysine (3,9–6,9%), et elles sont déficitaires en méthionine. Les lipides des graines contiennent de l'acide palmitique (26–31%), de l'acide stéarique (12–13%), de l'acide oléique (31–32%), de l'acide linoléique (25–30%) et des traces d'acide linolénique. L'huile des graines est jaune. Les graines contiennent des inhibiteurs de trypsine, qui peuvent être inactivés par ébullition. Les feuilles de *Cordeauxia edulis* de Somalie possèdent une faible teneur en protéines brutes (7,5–11,8%), une faible valeur énergétique (559–586 kJ par 100 g de matière sèche) et une faible digestibilité de la matière sèche in vitro (27,2–39,8%). En outre, elles ont une teneur en tanin élevée (2,5–2,7%), qui diminue leur qualité nutritionnelle. Les feuilles contiennent 1,2–1,5% de N, 0,1% de P, 0,7–1,8% de Ca, 0,1–0,2% de Mg et 0,1–0,2% de S. Si l'on en croit les bergers, la viande des animaux nourris avec *Cordeauxia edulis* est particulièrement savoureuse. *Cordeauxia edulis* a la réputation de provoquer des troubles intestinaux chez les chèvres qui n'ont rien d'autre à manger.

Le pigment rouge de *Cordeauxia edulis*, la cordeauxione (cordeauxiaquinone), est une naphthaquinone inconnue chez les autres plantes. Les feuilles contiennent 0,7–0,8% de ce colorant. Lorsqu'on manipule les feuilles fraîches, les mains se tachent de rouge. Les animaux qui broutent les feuilles ont les dents tachées de rouge orangé et ce colorant se retrouve sous la forme d'un complexe calcaire dans leurs os, qui deviennent roses. Cette coloration est considérée comme un signe de bonne qualité pour la viande, en Somalie et en Arabie saoudite par ex. Le bois de *Cordeauxia edulis* a été décrit comme un bon bois de feu puisqu'il s'enflamme même lorsqu'il est mouillé.

Description Arbuste ou petit arbre sempervirent densément ramifié, atteignant 2,5(–4) m de haut, à longue racine pivotante atteignant 3 m de profondeur et racines latérales situées à 10–40 cm sous la surface du sol, allant jusqu'à 2,5 m ; tige garnie de glandes rouges visibles. Feuilles alternes, paripennées, sans stipules ; folioles (2–)4–8(–12), elliptiques-oblongues, atteignant 3(–5) cm × 1,5(–2,5) cm, coriaces, vert olive sur le dessus, plus pâles et garnies de nombreuses glandes rouges sur le dessous. Inflorescence : grappe terminale pauciflore. Fleurs bisexuées, presque régulières, 5-mères, d'environ 2,5 cm de diamètre ; sépales oblongs, d'environ 1 cm de long, obtus, verts garnis de glandes rouges ; pétales presque égaux, d'environ 1,5 cm de long, jaunes, à onglet ; étamines 10, libres, rectilignes, à filets poilus au-dessous du milieu ; ovaire supère, 1-loculaire, courtement stipité, densément glanduleux ; stigmate obtus. Fruit : gousse ovoïde, de 4–6 cm × 2 cm, courtement stipité, à bec arqué, s'ouvrant par 2 valves dures, à 1(–6) graines. Graine ovoïde, de 2,0–4,5 cm de long, à tégument mince et se déchirant facilement. Plantule à germination épigée ; cotylédons épais.



Cordeauxia edulis – 1, rameau en fleurs ; 2, fruit ; 3, graine ; 4, amande.
Redessiné et adapté par Achmad Satiri Nurhaman

Autres données botaniques *Cordeauxia* ne comprend qu'une seule espèce. Il s'apparente étroitement à *Caesalpinia* et à *Stuhlmannia*. *Cordeauxia edulis* est relativement variable et on en distingue parfois deux types : "suley" ("sulei") et "moqley" ("mogollo"). Le type "suley", vert pâle, a une tige de large diamètre et de grandes folioles. Le type "moqley", vert foncé, a une tige de petit diamètre et de petites folioles. Les gousses du type "moqley" ne contiennent qu'une seule grosse graine. Celles du type "suley" contiennent plusieurs graines, comprimées latéralement et de plus petite taille. Les graines du type "moqley" seraient plus sucrées. Il existe des populations mélangées des deux types mais elles sont rares.

Les feuilles de *Cordeauxia edulis* ont une cuti-

cule extrêmement épaisse et leur mésophylle est constitué de cellules palissadiques à parois latérales capables de se replier en accordéon. Cela pourrait permettre aux feuilles de survivre à des sécheresses prolongées et d'emmagasiner de l'eau rapidement lorsqu'il y en a, ce qui permet à la plante de rester sempervirente.

Croissance et développement La germination de *Cordeauxia edulis* est rapide. Ensuite, la croissance des parties aériennes est très lente, notamment au stade du semis, alors que le système racinaire se développe rapidement. Des plantes qui font 60 cm de haut peuvent déjà avoir des racines de 2 m de long. Dans la nature, la floraison débute juste avant le début des pluies, lorsque l'humidité relative s'élève, ou immédiatement après les premières pluies ; certaines sources indiquent que la floraison a lieu toute l'année mais qu'elle est plus abondante pendant la saison des pluies. Les parties florales se détachent juste après la pollinisation, ne laissant que l'ovaire fécondé. Les fruits mûrissent 10–15 jours après la floraison. A la différence de beaucoup d'autres plantes, les graines de *Cordeauxia edulis* mûrissent lorsque la teneur en eau de la plante a atteint son maximum. Le développement du fruit s'arrête lorsque les pluies s'arrêtent ; les ovaires restent alors à l'état dormant pendant 4–5 mois et se remettent à mûrir au retour des pluies. *Cordeauxia edulis* commence à fructifier au bout de 3–4 ans. Ce sont des plantes d'une grande longévité, dont certaines, selon des sources somaliennes, atteignent plus de 200 ans, et elles se recèpent très bien. On ne sait pas si *Cordeauxia edulis* est capable de fixer l'azote atmosphérique.

Ecologie En Ethiopie et en Somalie, *Cordeauxia edulis* est présent dans les régions semi-désertes de savanes arbustives caducifoliées à *Acacia-Commiphora* situées à (100–)200–500(–1000) m d'altitude, éloignées d'au moins 100 km de l'océan Indien. Ces régions ont des températures annuelles moyennes de 26–30°C, une pluviométrie annuelle moyenne de 100–300(–400) mm et deux saisons des pluies.

Cordeauxia edulis est résistant aux épisodes habituels de sécheresse de 4–5 mois, voire à des sécheresses occasionnelles atteignant 15 mois. Il ne tolère pas le gel. Il pousse sur des sols profonds, perméables, rougeâtres, sableux, légèrement alcalins (d'un pH maximum de 8–8,5), non calcaires, à faible teneur en nutriments. *Cordeauxia edulis* ne tolère pas l'asphyxie racinaire.

Multiplication et plantation *Cordeauxia edulis* est habituellement multiplié par graines, mais une multiplication végétative par bouturage est également possible. Le poids de 100 graines est de 100–300 g. On entend souvent dire que les graines ne seraient viables que pendant quelques mois, mais recouvertes de cendres de bois et conservées dans des sacs, elles ont la réputation de rester viables pendant au moins un an. Le semis direct au champ semble préférable, car la racine pivotante, qui pousse très vite, s'abîme facilement lors du repiquage, le taux de mortalité pouvant atteindre 100%. On ne dispose pas de données sur les densités et les distances de plantation optimales. Dans la nature, en Somalie, on trouve jusqu'à 320 plantes/ha, mais cela dépend des conditions écologiques et de la distance des villages et des points d'eau.

Gestion *Cordeauxia edulis* se récolte généralement dans la nature. Il faut beaucoup d'eau pour que le plant s'établisse, mais une fois en place, il ne nécessite que peu de soins.

Maladies et ravageurs Les arbustes de *Cordeauxia edulis* sont pratiquement exemptes d'insectes ravageurs, mais les ravageurs des greniers, tels que charançons et larves de papillons de nuit, s'attaquent massivement aux graines.

Récolte Les fruits de *Cordeauxia edulis* se cueillent sur la plante, puis on les débarrasse de leur paroi avant de mettre les graines dans des sacs. Les graines sont souvent récoltées avant d'être mûres, ce qui peut contribuer à la faible viabilité qu'on observe souvent. En général, toutes les graines sont ôtées de la plante au même moment, ce qui gêne la régénération des peuplements naturels. Il est possible de faire deux récoltes par an, à condition qu'il y ait assez de précipitations pendant les deux saisons des pluies.

Rendements Les rendements en graines de *Cordeauxia edulis* sont de 5–8 kg par plante et par an, mais ils peuvent être nuls lors des années de sécheresse. La production fourragère moyenne se situe entre 325–450 kg/ha (soit 1,4–2 kg/plante).

Traitement après récolte Pour empêcher les graines de *Cordeauxia edulis* d'être la proie des insectes, on fait griller ou bouillir les graines qui viennent d'être récoltées pour tuer les insectes et durcir le tégument. Sous cette forme, elles atteignent un prix plus élevé sur le marché, mais cette pratique contribue à la difficulté d'obtenir des semences viables à planter. Les bergers gardent les graines pendant de

nombreuses années dans des récipients en cuir de chameau séché et tanné. Pour faire la teinture, les Somalis réduisent en poudre environ 200 g de feuilles séchées dans de l'eau, ce qui permet de teindre une dizaine de m² de coton. Les extraits alcalins produisent un violet plus intense que les extraits neutres ou légèrement acides.

Ressources génétiques Les peuplements de *Cordeauxia edulis* ont chuté au XXe siècle en conséquence d'une détérioration de la végétation provoquée par le surpâturage et les récoltes trop importantes des graines. Sur la Liste Rouge des plantes menacées publiée par l'UICN (1997), *Cordeauxia edulis* est classé dans la catégorie "rare", laquelle comporte des taxons à faibles populations au niveau mondial qui, sans être à l'heure actuelle jugés menacés d'extinction ou vulnérables, sont sujets à risque. La régénération et la protection des peuplements naturels, comme leur culture dans le cadre de reboisements dans sa région d'origine et en dehors, sont recommandées. Le manque de collections de ressources génétiques se fait fortement ressentir ; une entrée est conservée à l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI) d'Addis Abéba, une au Kenya au National Genebank of Kenya de Kikuyu, et une aux Etats-Unis, au Southern Regional Plant Introduction Station de Griffin, en Géorgie.

Perspectives *Cordeauxia edulis* est une plante polyvalente utile des régions sèches d'Ethiopie et de Somalie. Ses peuplements naturels, menacés de surexploitation, demandent à être protégés et sa culture à être étendue. *Cordeauxia edulis* pourrait être une source alimentaire prometteuse ainsi qu'une plante fourragère de saison sèche pour d'autres régions chaudes et arides. Il reste que la difficulté à se procurer des semences viables et le manque de connaissance de la plante, notamment de sa multiplication, des pratiques agronomiques et de son potentiel en matière de sélection, constituent des freins non négligeables.

Références principales Assefa, Bollini & Kleiner, 1997; Bally, 1966; Booth & Wickens, 1988; Drechsel & Zech, 1988; Miège & Miège, 1978; National Academy of Sciences, 1979; Seegeler, 1983; Thulin, 1989a; Thulin, 1993; Yahya & Durand, 1991.

Autres références Assefa, Bollini & Kleiner, 1997; Bally, 1966; Booth & Wickens, 1988; Drechsel & Zech, 1988; Miège & Miège, 1978; National Academy of Sciences, 1979; Seegeler, 1983; Thulin, 1989a; Thulin, 1993; Yahya & Durand, 1991.

Sources de l'illustration Booth & Wickens, 1988; Thulin, 1983.

Auteurs M. Brink

CRAIBIA BROWNII Dunn

Protologue Journ. Bot. 49: 108 (1911).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Synonymes *Craibia elliottii* Dunn (1911).

Origine et répartition géographique *Craibia brownii* est présent au nord-est de la R.D. du Congo, au Kenya, en Ouganda, en Tanzanie, en Zambie et peut-être aussi au Rwanda.

Usages Les graines de *Craibia brownii* sont comestibles après une cuisson prolongée. Le bois est utilisé pour confectionner des poteaux, des manches d'outils et des cuillers en bois, pour faire du feu et du charbon de bois. *Craibia brownii* est également planté comme arbre d'ombrage.

Propriétés Le bois de *Craibia brownii* est blanchâtre et dur, et de grain fin.

Botanique Arbre de taille petite à moyenne atteignant 24 m de haut, à l'écorce gris pâle. Feuilles alternes, imparipennées à 3–8 folioles ; stipules oblongues, souvent semi-persistantes ; pétiole de 1,5–2,5 cm de long, rachis atteignant 12 cm de long ; stipelles parfois présentes ; pétiolules de 1–2(–5) mm de long, ridés ; folioles alternes, elliptiques, lancéolées ou oblongues, de 4–15 cm × 1,5–7 cm, base cunéiforme à arrondie, apex progressivement acuminé, glabre, brillant. Inflorescence : grappe terminale ou axillaire à nombreuses fleurs, de 4–15 cm de long, à pubescence dense et brune ; bractées oblongues, atteignant 5 mm de long, caduques. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle atteignant 12(–19) mm de long ; calice à pubescence brune, tube de 4–5 mm de long, lobes très larges, d'environ 2 mm de long ; corolle bleuâtre, rosée ou blanche, de 18–22 mm de long, étendard pourvu d'un onglet court, ailes et carène à auricules bien marquées ; étamines 10, 9 fusionnées et 1 libre, gaine de 10–13 mm de long, parties libres de 5–6 mm de long ; ovaire supère, courtement stipité, de 10–11 mm de long, densément poilu, style cylindrique, de 5–6 mm de long. Fruit : gousse plate, courtement stipitée, de 4,5–10 cm × 1,5–3,5 cm, asymétrique, pourvue d'un bec court, glabrescente, déhiscente à valves tordues, contenant 2–3 graines. Graines ellipsoïdes, d'environ 17 mm × 15 mm, noires. Plantule à germination

hypogée.
Le genre *Craibia* comprend 10 espèces et est confiné à l'Afrique tropicale.

Ecologie *Craibia brownii* est présent dans les forêts sèches autant que humides et le long des rivières, entre 1100–2200 m d'altitude, où la pluviométrie annuelle est de 850–1400 mm.

Ressources génétiques et sélection *Craibia brownii* n'est pas menacé d'érosion génétique car il est répandu et commun par endroits.

Perspectives Etant donné que l'on sait peu de choses sur *Craibia brownii*, ses perspectives restent obscures. Les propriétés nutritionnelles et chimiques des graines nécessitent des recherches.

Références principales Beentje, 1994; Gillett et al., 1971; Hauman et al., 1954b; Lovett, Ruffo & Gereau, 2003; Troupin, 1982.

Autres references ILDIS, 2002; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001.

Auteurs M. Brink

CROTALARIA KARAGWENSIS Taub.

Protologue Engl., Pflanzenw. Ost-Afrikas C : 204 (1895).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Synonymes *Crotalaria lugardiorum* Bullock (1932).

Origine et répartition géographique *Crotalaria karagwensis* est réparti en Afrique centrale et en Afrique de l'Est, depuis le Cameroun jusqu'à l'Ethiopie et au sud jusqu'à la R.D. du Congo et la Tanzanie.

Usages Au Kenya, les graines de *Crotalaria karagwensis* sont réputées comestibles.

Propriétés Divers composés toxiques (des alcaloïdes et des acides aminés non protéiques) sont présents dans *Crotalaria* spp., mais on n'en connaît pas les niveaux chez *Crotalaria karagwensis*.

Botanique Plante herbacée annuelle érigée, atteignant 1 m de haut, souvent pourvue de rameaux partant de la base, étalés et faiblement ascendants ; tige à poils couchés. Feuilles alternes, simples ; stipules linéaires-subulées, atteignant 3,5 mm de long ; pétiole de 1–2 mm de long ; limbe linéaire-lancéolé à elliptique, de 1,5–11,5 cm × 2–12 mm, aigu à arrondi à l'apex, à poils couchés en dessous. Inflorescence : grappe terminale ou axillaire, lâche, de 9–24 cm de long, à (6–)10–24 fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle d'environ 5 mm de long ; calice de (4,5–)6–8 mm de long, lobes supérieurs étroitement atténués-triangulaires, plus longs que le tube ; corolle jaune, étendard elliptique, d'environ 9 mm × 7 mm, à veines violet rougeâtre, ailes d'environ 7 mm × 2–3 mm, carène anguleuse, de 7–11 mm × 4 mm, à long bec torse rectiligne ; étamines 10, toutes soudées ; ovaire supère, oblong, d'environ 3,5 mm de long, 1-loculaire, style d'environ 7 mm de long. Fruit : gousse oblongue, en massue, rétrécie à la base en un stipe de 2–3 mm de long, d'environ 2,5 cm × 3,5 cm × 0,5 cm, à 15–34 graines. Graines en cœur oblique, de 1,5–4 mm de diamètre, lisses.
Le genre *Crotalaria* comprend environ 600 espèces réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, dont près de 500 espèces se trouvent en Afrique tropicale. *Crotalaria karagwensis* appartient à la section *Crotalaria*, sous-section *Longirostres*. Dans cette sous-section, les taux de substances toxiques sont en général relativement faibles, bien que la plupart des espèces contiennent de la γ-glutamyl-tyrosine, un acide aminé libre.

Ecologie *Crotalaria karagwensis* est présent à 1100–2300 m d'altitude dans les savanes herbeuses et boisées ; il persiste aussi aux abords de routes et sur les terres cultivées.

Ressources génétiques et sélection On ne connaît l'existence d'aucune collection de ressources génétiques de *Crotalaria karagwensis*. Etant donné l'étendue de sa répartition, *Crotalaria karagwensis* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives On ne sait pas à quel point les graines de *Crotalaria karagwensis* sont consommées en Afrique tropicale. On a besoin de plus d'information sur les taux de substances toxiques des graines et sur les méthodes qui conviennent pour éliminer ces composés.

Références principales Burkill, 1995; Gillett et al., 1971; Pilbeam & Bell, 1979; Polhill, 1982; Thulin, 1989a.

Autres références Hepper, 1958; ILDIS, 2005; Toussaint et al., 1953.

Auteurs M. Brink

CROTALARIA LACHNOPHORA Hochst. ex A.Rich

Protologue Tent. fl. abyss. 1: 151 (1847).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $n = 8$

Noms vernaculaires Crotalaire à toison (Fr).

Origine et répartition géographique *Crotalaria lachnophora* est répandu en Afrique tro-

picale, depuis le Sénégal jusqu'à l'Ethiopie et vers le sud jusqu'à l'Angola et au Zimbabwe. Il a récemment été introduit à Madagascar à partir du Rwanda.

Usages Les graines de *Crotalaria lachnophora* sont réputées comestibles en R.D. du Congo. La culture de *Crotalaria lachnophora* est encouragée au Rwanda en tant qu'engrais vert dans des systèmes de rotation, avec le pois cajan (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) et *Tephrosia vogelii* Hook.f. A Madagascar, il est utilisé de façon expérimentale comme plante de couverture pour les jachères et en haies suivant les courbes de niveau. Au Guatemala, on l'a préconisé comme plante d'ombrage pour les caféières, et pour préserver le sol. On met des gouttes de jus de feuilles dans l'oreille pour traiter l'otite.

Propriétés Divers alcaloïdes et acides aminés non protéiques (γ-glutamyltyrosine, isowillardiine, acide 2-pipérudinecarboxylique) ont été détectés dans les graines de *Crotalaria lachnophora* et pourraient provoquer une toxicité. Cependant, des acides aminés reconnus toxiques pour les mammifères et les oiseaux, présents chez de nombreuses espèces de *Crotalaria*, n'ont pas été détectés chez *Crotalaria lachnophora*.

Botanique Plante herbacée vivace ou arbuste atteignant 3 m de haut, fortement ramifiée dans sa partie supérieure ; rameaux densément poilus. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules oblongues-falciformes, de 1–2,5 cm × 2–8 mm, caudées ; pétiole de 0,5–3,5(–5) cm de long ; pétiolules de 1–2,5 mm de long ; folioles oblancéolées à obovales, de 3–7,5(–10) cm × 0,5–3,5 cm, base cunéiforme, apex aigu à arrondi, à poils densément couchés en dessous. Inflorescence : grappe terminale lâche de 10–30 cm de long, à fleurs peu nombreuses à nombreuses. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 5–11 mm de long ; calice de 11–15(–18) mm de long, à poils étalés, lobes deux fois plus longs que le tube ; corolle jaune, passant à rouge orangé, étendard circulaire, d'environ 20 mm × 20–30 mm, ailes largement oblongues, de 20–30 mm × 10–12 mm, carène brusquement arrondie dans sa moitié inférieure, de (13–)20–24(–26) mm × 11 mm, à bec assez court, obtus, légèrement incurvé ; étamines 10, toutes soudées ; ovaire supère, 1-loculaire, style de 20–23 mm de long. Fruit : gousse largement cylindrique, de 2–4,5 cm × 1–2 cm, poilu, à 16–18 graines. Graines oblongues à réniformes, de 4,5–5 mm de long, granulées, jaune orangé.

Le genre *Crotalaria* comprend environ 600 espèces réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, dont près de 500 espèces se trouvent en Afrique tropicale. *Crotalaria lachnophora* appartient à la section *Chrysocalycinae*, sous-section *Stipulosae*.

Ecologie *Crotalaria lachnophora* est présente dans les savanes herbeuses et boisées, parfois dans les maquis épineux ; on le trouve également aux abords de routes et dans les endroits perturbés ou cultivés, à 900–2200 m d'altitude. Au Nigeria, il est présent dans les régions où la pluviométrie annuelle moyenne est de 500–1300 mm, sur des sols acides et ferrugineux.

Ressources génétiques et sélection Une seule entrée de *Crotalaria lachnophora*, originaire du Kenya, est conservée au National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu. *Crotalaria lachnophora* est largement réparti et n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives Même si les graines de *Crotalaria lachnophora* ont la réputation d'être comestibles, des substances qui pourraient être toxiques ont été détectées dans les graines. On a besoin d'en savoir davantage sur la toxicité des graines et sur les méthodes qui conviennent pour éliminer les composés toxiques. *Crotalaria lachnophora* offre un certain potentiel comme engrais vert.

Références principales Beentje, 1994; Burkill, 1995; Gillett et al., 1971; Pilbeam & Bell, 1979; Polhill, 1982.

Autres références Berhaut, 1976; du Puy et al., 2002; Hepper, 1958; Husaini & Gill, 1985; ILDIS, 2005; Moller, 1990; Neuwinger, 2000; Thulin, 1989a; Toussaint et al., 1953; Wiedenroth, 1991.

Auteurs M. Brink

DIGITARIA EXILIS (Kippist) Stapf

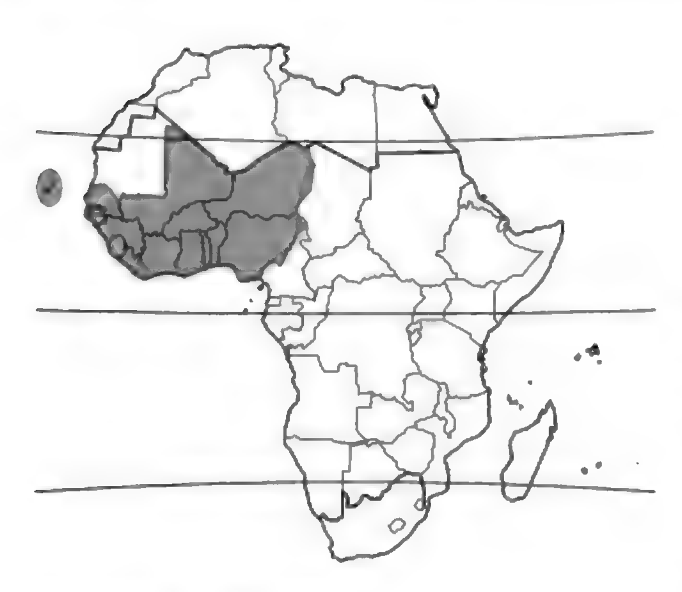
Protologue Bull. Misc. Inform. Kew 1915: 385 (1915).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 54$

Noms vernaculaires Fonio, fonio blanc, petit mil (Fr). Fonio, hungry rice, white fonio (En).

Origine et répartition géographique Le fonio n'est connu qu'à l'état cultivé ; on ignore son origine exacte, mais sa culture est ancienne en Afrique de l'Ouest. Il dérive probablement de *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers. dans l'arrière-pays du delta du Niger. Les mentions historiques de l'usage du fonio comme céréale remontent au XIVe siècle. De nos jours, on trouve des cultures disséminées de fonio depuis



Digitaria exilis – planté

le Cap Vert et le Sénégal jusqu'au Lac Tchad, en particulier sur le Plateau du Fouta Djallon en Guinée, le Plateau de Bauchi au Nigeria et au nord-ouest du Bénin. Il est également cultivé en République dominicaine.

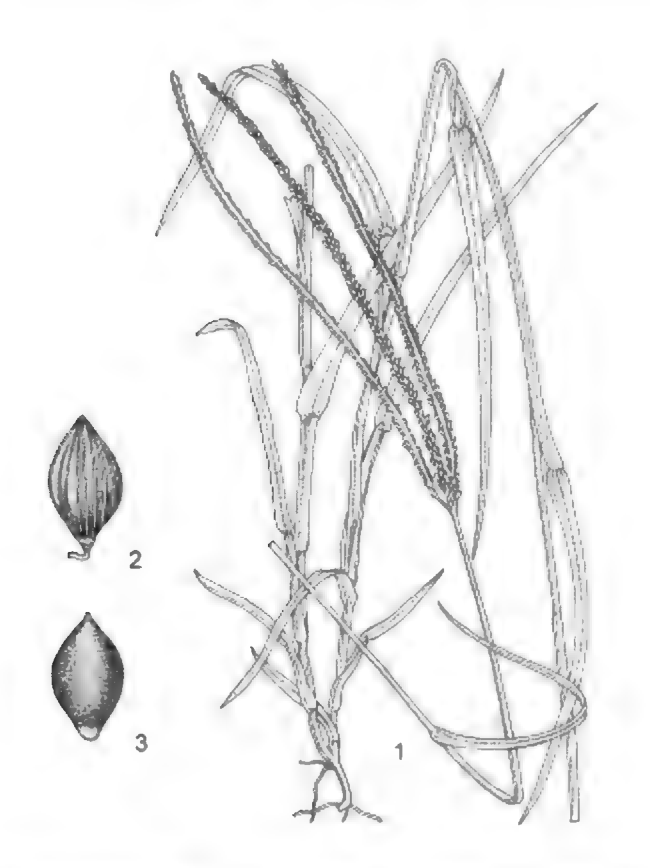
Usages Le fonio est un aliment de base de diverses régions d'Afrique de l'Ouest, où il est connu aussi sous le nom d' "acha" ou de "fundi" ; mais c'est aussi un aliment de prestige (une "nourriture de chef") et un produit gastronomique. Dans les régions haoussas du Nigeria, du Bénin, du Togo et du Ghana, des types spéciaux de couscous ("wusu-wusu") se préparent avec du fonio. Au sud du Togo, les Akpossos et les Akebous confectionnent un plat de fonio et de haricots pour des occasions particulières. Au Nigeria, la farine de fonio sert à confectionner des bouillies épaisses non fermentées (le "tuwo acha"), et les grains fermentés sont employés dans des bouillies liquides (le "kunu acha"). Cuits à l'eau, les grains entiers se mangent avec des légumes, du poisson ou de la viande. Au nord du Togo, les Lambas fabriquent de la bière de fonio (le "tchapalo"). On le fait aussi éclater et il peut être mélangé à d'autres farines pour fabriquer du pain. En République dominicaine, la farine de fonio entre dans la préparation de bouillies et de crèmes ; mélangée à d'autres farines de céréales, elle sert à confectionner des biscuits et on s'en sert pour préparer des confiseries et des boissons fermentées ; hormis les repas quotidiens, le fonio est également associé à diverses festivités religieuses héritées des ancêtres africains.
Le grain de fonio est un aliment de valeur pour les animaux domestiques, qui le digèrent bien. La paille et la balle constituent un excellent fourrage et sont souvent vendues sur les marchés à ce titre. On mélange la paille hachée à de l'argile pour construire les murs des maisons. La paille sert aussi de combustible de cuisson ou à produire de la cendre pour faire de la potasse. Le grain de fonio est réputé avoir des propriétés médicinales ; il est indiqué pour les femmes qui allaitent et pour les diabétiques.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale moyenne de fonio (incluant pour l'essentiel le fonio blanc, mais aussi le fonio noir, *Digitaria iburua* Stapf) s'élevait entre 1999–2003 à 257 000 t par an sur 360 000 ha, pour la seule Afrique de l'Ouest. Les principaux pays producteurs sont la Guinée (128 000 t par an en 1999–2003, sur 137 000 ha), le Nigeria (78 000 t sur 142 000 ha), le Mali (21 000 t sur 33 000 ha), le Burkina Faso (13 000 t sur 16 000 ha) et la Côte d'Ivoire (11 000 t sur 22 000 ha). On ne connaît pas les chiffres pour la République dominicaine. Les statistiques de la FAO font ressortir un accroissement de la production mondiale, passée d'environ 180 000 t par an au début des années 1960 à près de 260 000 t au début des années 2000 ; cela correspond à une augmentation de la superficie cultivée de 280 000 ha à près de 360 000 ha. Le fonio n'est pratiquement pas commercialisé hors de l'Afrique de l'Ouest, hormis de faibles quantités vendues comme produit de luxe en Europe.

Propriétés La composition des grains entiers de fonio, par 100 g de partie comestible est : eau 11,2 g, énergie 1390 kJ (332 kcal), protéines 7,1 g, lipides 3,0 g, glucides 74,4 g, fibres 7,4 g, Ca 41 mg, P 191 mg, Fe 8,5 mg, thiamine 0,24 mg, riboflavine 0,10 mg, et niacine 1,9 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels par 100 g de grains est de : tryptophane 111 mg, lysine 205 mg, méthionine 441 mg, phénylalanine 402 mg, thréonine 315 mg, valine 457 mg, leucine 772 mg et isoleucine 315 mg (FAO, 1970). La composition en acides aminés du fonio est comparable à celle d'autres céréales, mais sa teneur en méthionine est relativement élevée. On considère le grain de fonio comme très appétissant.

Falsifications et succédanés Le fonio noir et le fonio à gros grains (*Brachiaria deflexa* (Schumach.) Robyns) sont utilisés comme substituts du fonio.

Description Graminée annuelle atteignant 80 cm de haut, ascendante et à talles nombreux, à délicates tiges géniculées. Feuilles



Digitaria exilis – 1, port de la plante ; 2, épillet ; 3, grain.
Redessiné et adapté par Achmad Satiri Nurhaman

alternes, simples ; gaine glabre, lisse, striée ; ligule membraneuse, large, d'environ 2 mm de long ; limbe linéaire à lancéolé, se rétrécissant progressivement en un apex aigu, de 5–15 cm × 0,3–0,9 cm, glabre. Inflorescence : panicule terminale digitée constituée de 2–5 rameaux primaires minces spiciformes et atteignant 15 cm de long. Epillet à pédicelle atteignant 1 mm, étroitement ellipsoïde, de 1,5–2 mm de long, aigu, glabre, vert pâle, à 2 fleurs ; glume inférieure hyaline, minuscule, glume supérieure largement oblongue, légèrement plus courte que l'épillet, hyaline entre les nervures vertes, au nombre de 3–5 ; fleur inférieure stérile, fleur supérieure bisexuée ; lemme à peu près aussi longue que l'épillet, à 7–9 nervures ; paléole légèrement plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) oblong à ellipsoïde-globuleux, d'environ 0,5 mm de long, blanc à brun pâle ou violacé.

Autres données botaniques D'un point de vue taxinomique, *Digitaria* est un genre difficile, qui comprend environ 230 espèces dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes, particulièrement dans l'Ancien Monde. *Digitaria barbinodis* Henr., qui se rencontre au Mali et au Nigeria, est récolté comme céréale sauvage en période de disette, et il est parfois cultivé au Nigeria. *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler sert parfois de complément alimentaire (Tchad) ou se consomme comme aliment de famine. *Digitaria debilis* (Desf.) Willd., *Digitaria fuscescens* (Presl) Henrard, *Digitaria leptorhachis* (Pilg.) Stapf, *Digitaria longiflora* (Retz.) Pers., *Digitaria nuda* Schumach. et *Digitaria ternata* (A.Rich) Stapf sont également connus en Afrique tropicale comme aliments de famine, mais ils sont jugés plus importants comme fourrage ou comme plantes auxiliaires. En Inde (Assam) et au Vietnam, *Digitaria cruciata* (Nees ex Steud.) A.Camus ("raishan") est cultivé pour l'alimentation humaine et comme fourrage, alors que *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop. ("millet sanguin") est quant à lui une céréale cultivée (encore ou autrefois) en Europe, en Asie et en Amérique.

La diversité au sein de *Digitaria exilis* est vaste et comporte de nombreuses variétés locales, qui diffèrent par le port et la couleur de la plante, la couleur des glumes, la taille des grains et la longueur du cycle de culture. A partir de la morphologie, 5 variétés ont été distinguées :

- var. *gracilis* Portères : bord de feuille frisé, inflorescence à 2 rameaux primaires, chacun pourvu de 50–100 épillets tous les 10 cm, épillets par groupes de (2–)3(–4) et sur 1–2 rangs, pédicelles rugueux ; maturité précoce ; région de Kankan (Guinée).
- var. *stricta* Portères : bord de feuille légèrement frisé, inflorescence à 2 rameaux primaires, chacun pourvu de 50–100 épillets tous les 10 cm, épillets par groupes de (2–)3(–4) et principalement sur 1 rang, pédicelles lisses ; maturité précoce ; Casamance (Sénégal), Guinée, Mali et Burkina Faso.
- var. *rustica* Portères : plantes robustes, inflorescence à (2–)3–4(–5) rameaux primaires, chacun pourvu de 90–120 épillets tous les 10 cm, épillets par groupes de (3–)4 et sur 2–3 rangs, pédicelles lisses ; maturité tardive ; Casamance (Sénégal), Guinée, Mali et Burkina Faso.
- var. *mixta* Portères : plantes robustes, parties végétatives pigmentées de rougeâtre, inflorescence à (2–)3–4(–5) rameaux primaires, chacun pourvu de 90–120 épillets tous les 10 cm, épillets par groupes de (3–)4 et sur 2–3 rangs, pédicelles lisses ; maturité tardive ; Guinée.
- var. *densa* Portères : plantes fortes et de

grande taille, à long cycle végétatif, inflorescence à 3–4 rameaux primaires, chacun pourvu de 120–140 épillets tous les 10 cm, épillets par groupes de 2(–3) et sur 2–3 rangs ; maturité tardive ; Togo.

Croissance et développement Le fonio germe habituellement en 2–4 jours après le semis et pousse rapidement. La floraison a généralement lieu 6–8 semaines après la levée. La période entre semis et maturité est normalement de 2–5(–6) mois. Certaines variétés locales mûrissent si vite qu'elles produisent déjà du grain 6–8 semaines après le semis, longtemps avant les autres céréales, fournissant ainsi de la nourriture tôt pendant la saison de croissance. A maturité, les tiges se courbent sous le poids des grains. Le fonio a une photosynthèse en C_4.

Ecologie On fait pousser le fonio au niveau de la mer en Gambie, en Guinée-Bissau et au Sierra Leone, mais plus souvent il est cultivé à 600–1500 m d'altitude. La température moyenne pendant la saison de croissance varie entre 20°C en altitude et 25–30°C près de la mer. Le fonio pousse dans des régions dont la précipitation moyenne annuelle est de 150–3000 mm, mais sa culture est concentrée dans les zones où cette moyenne annuelle est de 900–1000 mm. Il n'a pas la même résistance à la sécheresse que le mil, mais les variétés locales à maturité rapide conviennent aux régions où les pluies sont de courte durée et incertaines. Dans les régions de très faible pluviométrie, il est cultivé dans les vallées qui profitent du ruissellement. Le fonio peut s'adapter aux sols pauvres, superficiels, sableux ou rocheux qui ne conviennent pas aux autres céréales, mais il ne réussit pas sur des terres salines ou lourdes. Sur le Plateau du Fouta Djallon de Guinée, il pousse sur des sols acides dont la teneur en aluminium est très élevée.

Multiplication et plantation Le fonio est multiplié par graines. Le poids de 1000 graines est de 400–600 mg. Le fonio se sème d'ordinaire au début de la saison des pluies. La préparation du sol est succincte : on fait brûler la végétation de jachère, on épand les cendres avant d'ameublir le sol par un travail superficiel. Les graines, mélangées à un volume égal de sable ou de cendres, se sèment généralement à la volée avant d'être recouvertes de terre au moyen d'un léger binage ou d'un brossage avec des branches. La densité de semis est de 10–30 kg par ha. On sème parfois le fonio en pépinière avant de le repiquer en plein champ.

Le fonio se cultive d'ordinaire en culture pure, mais il arrive qu'il soit associé au sorgho ou au mil. Il est courant chez les paysans de Guinée de semer ensemble divers types de fonio et par la suite de remplir les manques éventuels avec du fonio à gros grains.

Gestion Bien que l'on ait pu dire que le fonio a rarement besoin d'être désherbé en raison de sa rapide implantation et d'une densité de semis élevée, d'autres sources indiquent qu'un désherbage 4–5 semaines après le semis est nécessaire pour obtenir de bons rendements. Le fonio n'est en général pas fertilisé et on sait peu de choses sur ses besoins en nutriments. En rotation, le fonio suit souvent le riz pluvial comme culture à cycle court, avant qu'une autre culture soit semée au cours de la même saison. Il est également cultivé en fin de rotation.

Maladies et ravageurs Le fonio est sensible à la rouille (*Puccinia oahuensis*). On a observé une résistance aux nématodes *Meloidogyne incognita* et *Meloidogyne javanica* sur des sols où d'autres espèces de plantes avaient été contaminées. Les oiseaux peuvent provoquer de sérieux dégâts, et il est en général nécessaire de mettre en place des épouvantails. Le fonio est attaqué par des plantes parasites du genre *Striga*. Les grains de fonio ne sont pas sujets aux dégâts causés par les ravageurs des greniers et se conservent bien.

Récolte Le fonio se coupe d'ordinaire au couteau ou à la faucille, avant d'être lié en javelles puis séché et entreposé sous couvert. La mécanisation est difficile à cause de la verse. Lorsque les plantes sont sèches, les grains se dispersent facilement ; par conséquent, il est préférable de récolter avant que la saison sèche ne se soit complètement installée et que l'humidité relative de l'air ait beaucoup diminué. La récolte est souvent échelonnée pour répondre aux besoins immédiats du paysan.

Rendements Les rendements en grains du fonio sont habituellement de 600–900 kg/ha, mais des rendements supérieurs à 1000 kg/ha ont été signalés. Dans les régions marginales, les rendements peuvent descendre à 150–200 kg/ha.

Traitement après récolte Le battage du fonio se fait le plus souvent au bout de 8 jours après récolte, traditionnellement au bâton ou par piétinement. La balle reste sur le grain, qui par conséquent retient l'humidité et doit être séché davantage. Les grains sont suffisamment secs lorsqu'ils coulent facilement entre les doigts. Ensuite le produit du battage (le "fonio paddy") passe par une nouvelle transformation,

en 2 étapes : le décorticage (élimination des glumes et glumelles) et le blanchissage (élimination du son et du germe). Ces deux opérations se font manuellement et nécessitent entre 4–5 pilages, en alternance avec des vannages. Pour obtenir un produit de bonne qualité, toute les impuretés et le sable doivent être ôtés au moyen de lavages répétés. Ces opérations de transformation sont difficiles et prennent du temps ; on essaie donc de mettre au point des machines pour les faciliter. On peut trouver dans les villes, par ex. au Mali et Burkina Faso, de petites entreprises de transformation du fonio, qui visent les marchés urbains et l'exportation.

Ressources génétiques Le fonio ne semble pas menacé d'érosion génétique. L'analyse par RAPD a montré un niveau de diversité génétique relativement élevé chez le fonio, par comparaison aux autres millets, peut-être en raison de son caractère allogame. La plupart des collections de ressources génétiques constituées avant 1990 et conservées dans des banques de gènes nationales ont été perdues, mais il en existe des doubles à l'IRD (Institut de recherche pour le développement), à Montpellier (France), qui conserve plus de 400 entrées de fonio. Des entrées sont également conservées au Sénégal, en Guinée, au Mali, au Burkina Faso, au Togo, au Bénin et au Nigeria. Au Nigeria, au Bénin et au Togo, des travaux de caractérisation des ressources génétiques ont débuté pour mieux comprendre et utiliser le pool génétique du fonio.

Sélection Jusqu'à maintenant, le fonio a été largement négligé par les programmes d'amélioration des plantes. Des tentatives de sélection ont été entreprises en Guinée, mais on ne dispose à ce jour d'aucun résultat. L'amélioration du fonio par hybridation classique ne semble pas très attirante en raison d'une connaissance insuffisante de sa biologie florale et de la nature extraordinairement miniaturisée de ses organes floraux.

Perspectives C'est bien à tort que le fonio est nommé "hungry rice" ("riz de famine"), car il n'est pas cultivé pour soulager la faim mais pour sa qualité et sa contribution à la sécurité alimentaire. C'est une plante à cycle court, apte à produire sur des sols très pauvres. Nourriture appréciée en Afrique de l'Ouest, sa qualité nutritionnelle est excellente. Des axes intéressants de recherche portent sur l'amélioration du port de la plante afin de prévenir la verse, la sensibilité à la photopériode, les techniques de culture, la taille du grain, la mise au point de méthodes de transformation moins laborieuses et l'amélioration des filières semences paysannes. L'étude de la diversité génétique du fonio et l'évaluation multisite des ressources génétiques sont également hautement recommandées.

Références principales Burkill, 1994; Froment & Renard, 2001; Haq & Dania Ogbe, 1995; Hilu et al., 1997; National Research Council, 1996; Ndoye & Nwasike, 1993; Portères, 1976; van der Hoek & Jansen, 1996a; Vodouhè, Zannou & Achigan Dako (Editors), 2003; Vodouhè & Achigan Dako (Editors), 2003.

Autres références Busson, 1965; Chevalier, 1950; Cissé, 1974–1975; Clayton, 1972; Cruz, 2004; de Wet, 1995c; FAO, 1970; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Harlan, 1993; Jideani, 1990; Jideani, 1999; Konkobo-Yaméogo et al., 2004; Kuta et al., 2003; Kwon-Ndung, Misari & Dachi, 1998; Leung, Busson & Jardin, 1968; Lewicki, 1974; Morales-Payán et al., 2002; Purseglove, 1972; Sarr & Prot, 1985; van der Zon, 1992.

Sources de l'illustration Henrard, 1950; Stapf, 1916.

Auteurs S.R. Vodouhè & E.G. Achigan Dako

DIGITARIA IBURUA Stapf

Protologue Bull. Misc. Inform. Kew 1915: 382 (1915).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 54$

Noms vernaculaires Fonio noir, manne noire, ibourou (Fr). Black fonio, iburu, black acha (En).

Origine et répartition géographique Le fonio noir est cultivé comme céréale çà et là depuis la Côte d'Ivoire jusqu'au nord du Nigeria et au sud du Niger, ainsi qu'au Cameroun. Il a également été signalé en Guinée et en R.D. du Congo. Il n'est connu qu'à l'état cultivé. Son origine demeure incertaine, mais il dérive peut-être de *Digitaria ternata* (A.Rich.) Stapf.

Usages Le fonio noir est un aliment de base pour les Biroms du Plateau de Jos au nord du Nigeria et un important aliment d'appoint pour les peuples du massif de l'Atakora au Togo et au Bénin. Il est consommé en bouillie ou mélangé à la farine d'autres céréales. Les grains sont également consommés cuits comme du riz ou dans des ragoûts. Au Bénin et au Nigeria, on prépare du couscous de fonio noir. Au Togo,

il sert à brasser une bière ("tchapalo").

Propriétés La composition des grains entiers de fonio noir, par 100 g de partie comestible, est la suivante : eau 10,3 g, énergie 1436 kJ (343 kcal), protéines 8,9 g, lipides 3,0 g, glucides 75,6 g, fibres 6,2 g, P 234 mg et Fe 10,0 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels par 100 g de grain est : tryptophane 215 mg, lysine 225 mg, méthionine 355 mg, phénylalanine 803 mg, thréonine 389 mg, valine 614 mg, leucine 1395 mg et isoleucine 508 mg (FAO, 1970).

Botanique Graminée annuelle, érigée, en touffe lâche, atteignant 1,4 m de haut, à tiges glabres. Feuilles alternes, simples ; gaine glabre, lisse, striée ; ligule membraneuse, arrondie, large, de 2–3 mm de long ; limbe linéaire, effilé vers le haut, jusqu'à 30 cm × 1 cm, glabre excepté quelques longs poils près de la base. Inflorescence : panicule terminale digitée avec (2–)4–10(–11) rameaux primaires sessiles de 12–14 cm de long, spiciformes. Epillet à pédicelle jusqu'à 2,5 mm de long, elliptique-lancéolé à oblong, jusqu'à 2 mm × 1 mm, aigu, glabre, vert à brun foncé, à 2 fleurs ; glume inférieure hyaline, minuscule ; glume supérieure ovale-oblongue, de 1–1,5 mm de long, hyaline, 3-nervée ; fleur inférieure stérile, fleur supérieure bisexuée ; lemme de la fleur inférieure 7-nervée, lemme de la fleur supérieure brunâtre à noire ; paléole légèrement plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde, de 1,5–2 mm × 1 mm.

Digitaria iburua se distingue essentiellement de son ancêtre éventuel *Digitaria ternata* par ses épillets glabres. *Digitaria iburua* ressemble beaucoup à *Digitaria exilis* (Kippist) Stapf (le fonio proprement dit). Il est dénommé fonio noir à cause de ses épillets de couleur foncée, mais son grain est blanc.

Ecologie Le fonio noir est cultivé entre 400–1300 m d'altitude dans des zones où les précipitations annuelles sont de 900–1000 mm. Il a la réputation de produire une récolte là où le fonio échoue à cause de la sécheresse. Bien qu'il soit censé bien pousser sur des sols pauvres, il est cultivé sur des sols plus fertiles au nord du Nigeria.

Gestion Le poids de 1000 graines de fonio noir est d'environ 500 g. Au nord du Nigeria, il est généralement semé vers la fin du mois de juin et récolté en novembre–décembre. Il est fréquemment cultivé en association avec du fonio, du mil ou du sorgho. Le fonio noir étant difficile à décortiquer, on le mange la plupart du temps mal nettoyé.

Ressources génétiques et sélection Il ne semble pas exister de collections de ressources génétiques ou de programmes de sélection du fonio noir, mais des ressources génétiques de 2 variétés traditionnelles ('Tchibam' et 'Tripka'), identifiées provisoirement comme *Digitaria iburua*, ont été collectées au Togo pour l'Institut togolais de recherche agronomique (ITRA). On ne dispose pas d'informations sur la variation génétique intraspécifique ni sur les risques d'érosion génétique.

Perspectives Le fonio noir a nettement moins d'importance que le fonio, mais il est apprécié en tant que céréale traditionnelle dans certaines parties d'Afrique de l'Ouest. Son importance ne devrait pas augmenter, d'autant qu'il est difficile à décortiquer. On sait peu de choses sur ses besoins écologiques, sur son agronomie et sur ses possibilités d'amélioration génétique, ce qui amène à recommander des recherches dans ces domaines.

Références principales Burkill, 1994; Haq & Dania Ogbe, 1995; Hilu et al., 1997; Portères, 1976; van der Zon, 1992.

Autres references Adoukonou-Sagbadja et al., 2004; Busson, 1965; FAO, 1970; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Jideani, 1999; Leung, Busson & Jardin, 1968; National Research Council, 1996; Prasada Rao & de Wet, 1997; Stapf, 1917–1934; van der Hoek & Jansen, 1996a.

Auteurs M. Brink

ECHINOCHLOA OBTUSIFLORA Stapf

Protologue Prain, Fl. trop. Afr. 9(4) : 606 (1920).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 18$

Origine et répartition géographique *Echinochloa obtusiflora* n'est connu qu'au Niger, au nord du Nigeria, au nord du Cameroun et au Soudan.

Usages Les grains d'*Echinochloa obtusiflora* sont consommés au Soudan (Kordofan) en période de disette ; ils sont récoltés dans la nature. *Echinochloa obtusiflora* est une bonne plante fourragère.

Botanique Graminée annuelle (parfois vivace) érigée, en touffe, atteignant 1 m de haut ; tige (chaume) érigée ou ascendante. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine glabre, lisse ; ligule ciliée ; limbe linéaire, de 20–40 cm

× 2–9 mm, poilu à la base et sur les bords ou glabre. Inflorescence composée de 2–12 grappes sur un axe central de 5–17 cm de long ; grappes érigées, de 1–4 cm de long, avec des épillets sur 4 rangs le long du rachis. Epillet elliptique, de 2–3,5 mm de long, obtus, un peu rugueux vers l'apex, à 2 fleurs avec la fleur inférieure mâle et la fleur supérieure bisexuée ; glume inférieure obtuse, environ un tiers aussi longue que l'épillet, glume supérieure aussi longue que l'épillet ; lemme et paléole de la fleur supérieure à extrémité incurvée ; étamines 3 ; ovaire supère, stigmates 2. Fruit : caryopse (grain).

Le genre *Echinochloa* comprend 30–40 espèces. Il s'agit d'un genre difficile d'un point de vue taxinomique, car les frontières entre les espèces sont rarement bien délimitées, d'autant plus que celles-ci sont très variables. L'introgression entre espèces est courante. Les souches d'*Echinochloa obtusiflora* qui ont été étudiées étaient partiellement auto-incompatibles.

Ecologie On trouve *Echinochloa obtusiflora* dans les marigots peu profonds, les plaines inondables et autres endroits humides. C'est une adventice du riz.

Ressources génétiques et sélection Bien que son aire de répartition soit limitée, *Echinochloa obtusiflora* ne semble pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives Le rôle d'*Echinochloa obtusiflora* en tant que céréale se limite à servir d'aliment en période de disette, et il y a peu de chances pour qu'il gagne en importance à l'avenir. On manque d'informations sur les qualités nutritionnelles du grain.

Références principales Burkill, 1994; Clayton, 1972; van der Zon, 1992; Yabuno, 1983; Yabuno, 1988.

Autres references Phillips, 1995; Stapf, 1917–1934.

Auteurs M. Brink

ECHINOCHLOA STAGNINA (Retz.) P.Beauv.

Protologue Ess. Agrostogr. : 53, 161, 171 (1812).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n$ = 18, 36, 54, 63, 72, 108, 126

Synonymes *Echinochloa scabra* (Lam.) Roem. & Schult. (1817).

Noms vernaculaires Bourgou, roseau sucré, roseau à miel du Niger (Fr). Hippo grass, long-awned water grass, burgu grass (En).

Origine et répartition géographique *Echinochloa stagnina* se rencontre dans toute l'Afrique tropicale ainsi qu'en Asie tropicale, où il a peut-être été introduit. Il est parfois naturalisé dans d'autres régions tropicales.

Usages En Afrique tropicale, les grains d'*Echinochloa stagnina* sont traditionnellement collectés comme céréale, en particulier en période de disette. *Echinochloa stagnina* est semé comme céréale en Inde. Les tiges et les rhizomes sucrés ont été utilisés dans la production de boissons alcoolisées ou non alcoolisées et le sont encore dans l'extraction du sucre pour la confiserie et la fabrication de liqueurs. Les enfants sucent les tiges pour en extraire le sucre. Les savanes herbeuses à *Echinochloa stagnina* ("bourgoutières") constituent d'importants pâturages de saison sèche pour les troupeaux d'éleveurs d'Afrique de l'Ouest. Au Tchad, on sème *Echinochloa stagnina* pour améliorer les pâturages, et en Egypte on le sème aussi comme herbe fourragère. On peut en faire du foin. Les tiges servent à recouvrir les toits et à fabriquer des nattes, les feuilles à calfater les bateaux. La cendre des feuilles brûlées a été utilisée dans la fabrication de savon et en tant que mordant dans la teinture à l'indigo.

Propriétés Des plantes d'*Echinochloa stagnina* à mi-floraison au Niger contiennent : protéines brutes 11,3%, fibres brutes 32,5%, lipides bruts 2,2%, extraits sans azote 44,2%, Ca 0,31%, Mg 0,31% et P 0,25%. La moelle des chaumes contient 10% de saccharose et 7–8% de sucres réducteurs. Grâce à sa teneur en sucres élevée, *Echinochloa stagnina* passe pour une excellente herbe fourragère.

Botanique Graminée aquatique vivace, atteignant 2,5 m de haut, voire plus (jusqu'à 10 m) si elle flotte, à gros rhizomes, souvent flottants ; tige (chaume) décombante, jusqu'à 2,5 cm de diamètre, souvent spongieuse, formant des racines et des ramifications sur les nœuds inférieurs. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine de 15–25 cm de long, glabre ou rarement poilue, lâche à la base de la plante ; ligule formée d'une ligne de poils, souvent absente sur les feuilles supérieures ; limbe linéaire, de 10–60 cm × 0,5–3 cm, ferme, à bord scabre et à pointe filiforme. Inflorescence composée de grappes sur un axe central de 6–35 cm de long, érigée ou pendante ; grappes atteignant 15 cm de long, se chevauchant étroitement ou distantes, avec des épillets par paires. Epillets étroitement ovales, de 3,5–6 mm × 1–2 mm, légèrement poilus mais à poils hérissés

sur les nervures, à 2 fleurs avec la fleur inférieure mâle ou stérile et la fleur supérieure bisexuée ; glume inférieure d'environ la moitié de la longueur de l'épillet, brusquement acuminée à mucronée, glume supérieure aussi longue que l'épillet, sans arête ou avec une arête jusqu'à 4 mm de long ; lemme de la fleur inférieure avec une arête forte jusqu'à 25(–50) mm de long, lemme de la fleur supérieure de 3–5 mm de long ; étamines 3, anthères mauves ; ovaire supère, stigmates 2. Fruit : caryopse (grain).
Le genre *Echinochloa* comprend 30–40 espèces. Il s'agit d'un genre difficile d'un point de vue taxinomique, car les frontières entre les espèces sont rarement bien délimitées, les espèces étant elles-mêmes très variables. L'introgression entre espèces est courante. *Echinochloa stagnina* est extrêmement variable.
L'allongement de sa tige permet à *Echinochloa stagnina* de supporter une hausse du niveau de l'eau de 4 cm par jour, et il peut se rencontrer dans des trous d'eau atteignant 4 m de profondeur. Dans le delta central du fleuve Niger, la biomasse accumulée durant la saison des inondations peut atteindre 15–30(–40) t de matière sèche par ha. Les tiges piétinées par les animaux et recouvertes de terre forment des racines aux nœuds, ce qui représente pour *Echinochloa stagnina* un mode important de régénération naturelle. *Echinochloa stagnina* est autogame. Il a une photosynthèse en C_4.

Ecologie En Afrique tropicale, on trouve *Echinochloa stagnina* du niveau de la mer jusqu'à 2300 m d'altitude, en eaux peu profondes, dans les marécages et sur des sols argileux régulièrement inondés. Il forme souvent de gros tapis flottants, qui s'enracinent dans la boue. *Echinochloa stagnina* est souvent l'espèce dominante des pâturages naturels dans les plaines inondables du delta central du fleuve Niger et des rives du lac Tchad. Il peut constituer des peuplements massifs presque purs, ou être mélangés à *Echinochloa colona* (L.) Link, *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase et *Oryza longistaminata* A.Chev. & Roehr.
Echinochloa stagnina est une adventice importante du riz en Afrique tropicale, dans le sous-continent Indien et en Thaïlande, obstruant parfois les cours d'eau.

Gestion *Echinochloa stagnina* est multiplié par graines, boutures de tige ou division de plantes. Le poids de 1000 graines est d'environ 2,4 g. En conditions naturelles, les graines sont jetées dans l'eau. Lors d'essais, des graines entreposées sous l'eau dans l'obscurité à une température de 20°C n'ont montré aucune dormance et avaient un taux de germination de presque 100%, alors que d'autres conservées en conditions sèches avaient une période de dormance de 6–7 mois. On lève la dormance en retirant les glumes, ce qui a pour effet de réduire rapidement la viabilité. Les graines germent en l'espace d'une semaine après le semis. Lors de programmes de régénération au Mali, les semis ou les boutures enracinées sont repiqués au champ selon des densités de 10 000–16 000 plantes/ha.
Dans le delta central du fleuve Niger au Mali, les grains d'*Echinochloa stagnina* sont traditionnellement récoltés en bateau, en battant les inflorescences au-dessus d'un filet. Les grains s'égrenant facilement, ils sont récoltés assez précocement. Pour obtenir du sucre, les plantes récoltées sont traditionnellement mises à sécher au soleil, après quoi les feuilles sont retirées par brûlage. C'est à partir des tiges lavées et moulues que l'on extrait du sucre par filtrage à l'eau chaude. La matière végétative destinée au fourrage est coupée en bateau, puis consommée verte ou en foin. Le fourrage n'est pas seulement employé localement, mais il fait aussi l'objet d'un commerce important au marché de Tombouctou. Après la décrue, on laisse les animaux brouter ce qui reste jusqu'à la fin de la saison sèche.

Ressources génétiques et sélection Il y a environ 100 ans, les "bourgoutières" du delta central du Niger étaient estimées à quelque 250 000 ha, mais depuis lors, une grande partie a été remplacée par des rizières. Vers 1970, elles n'étaient plus évaluées qu'à 8000–10 000 ha. Depuis 1970, cette réduction s'est encore accentuée en raison de la riziculture, de la diminution des précipitations, de la baisse des niveaux d'eau dans le fleuve, des récoltes excessives et du surpâturage, ce qui a entraîné un bouleversement du pastoralisme traditionnel. L'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), d'Addis Abeba, en Ethiopie, détient 9 entrées d'*Echinochloa stagnina*.

Perspectives *Echinochloa stagnina* est une plante utile à usages multiples des zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest, notamment dans le delta central du fleuve Niger. Tant son aire de répartition que son importance ont décliné à cause de plusieurs facteurs, et cette tendance sera difficilement réversible. Dans de nombreuses autres régions, *Echinochloa stagnina* est considéré comme une adventice, c'est pourquoi il ne semble pas opportun d'en assurer la promotion ailleurs. En outre, on manque

d'informations sur les qualités nutritionnelles de son grain.

Références principales Bonis Charancle, 1994; Burkill, 1994; François, Rivas & Compère, 1989; Harlan, 1989b; Phillips, 1995.

Autres references Bartha, 1970; Busson, 1965; Clayton, 1989; François et al., 1991; Gibbs Russell et al., 1990; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; McKenzie et al., 1993; van der Zon, 1992; Yabuno, 1968; Yabuno, 1983.

Auteurs M. Brink

ELEUSINE CORACANA (L.) Gaertn.

Protologue Fruct. sem. pl. 1: 8 (1788).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 36$

Synonymes *Eleusine indica* (L.) Gaertn. subsp. *coracana* (L.) Lye (1999).

Noms vernaculaires Eleusine, coracan, mil rouge (Fr). Finger millet, African millet, koracan (En). Luco, capim colonial, nachenim (Po). Mwimbi, ulezi (Sw).

Origine et répartition géographique L'éleusine a été domestiquée dans les hautes terres d'Afrique de l'Est. Les vestiges archéologiques les plus anciens que l'on connaisse ont été trouvés lors de fouilles à Axoum, en Ethiopie, et on estime qu'ils remontent à 5000 ans. Ils ressemblent aux types d'éleusine très évolués qui sont encore cultivés en Ethiopie. La culture de l'éleusine s'est répandue dans les savanes de l'est et du sud de l'Afrique au cours de l'expansion des techniques de travail du fer, pour arriver finalement en Afrique du Sud il y a près de 800 ans. En Afrique tropicale, elle est maintenant cultivée depuis l'Ethiopie et l'Erythrée jusqu'au Mozambique, au Zimbabwe et en Namibie. Elle est également signalée à Madagascar. Bien que peu importante en Afrique de l'Ouest, l'éleusine a été observée dans une zone de faibles précipitations à l'est du Sénégal, en particulier au Niger et au nord du Nigeria. L'éleusine est arrivée en Inde il y a 2000–3000 ans. Depuis l'Inde, elle s'est répandue à travers l'Asie du Sud-Est jusqu'à la Chine et au Japon. Aux Etats-Unis, on la cultive à petite échelle comme graines pour les oiseaux.



Eleusine coracana – planté

Usages L'usage principal de l'éleusine en Afrique est de fournir du malt destiné à la production de bière locale ainsi que d'autres boissons, alcoolisées ou non. En Ethiopie un alcool distillé, connu sous le nom d' "areki", est produit à partir de l'éleusine. L'éleusine est également utilisée comme céréale alimentaire, en particulier pendant les périodes de disette. L'usage le plus courant de la farine d'éleusine est la préparation d'une bouillie, qui se sert habituellement accompagnée de légumes, de viande ou de poisson. La farine fraîchement moulue et légèrement humide sert à confectionner des "galettes" qui sont ensuite enveloppées dans des bractées de maïs ou des feuilles de bananier et grillées. Crues, ces "galettes" se conservent plusieurs jours ; lorsqu'on le souhaite, on ajoute de l'eau pour former une bouillie claire rafraîchissante. On écrase aussi des bananes avec cette farine et de ce mélange on confectionne des galettes aplaties que l'on frit à l'huile ou que l'on fait cuire dans une poêle sans matière grasse.

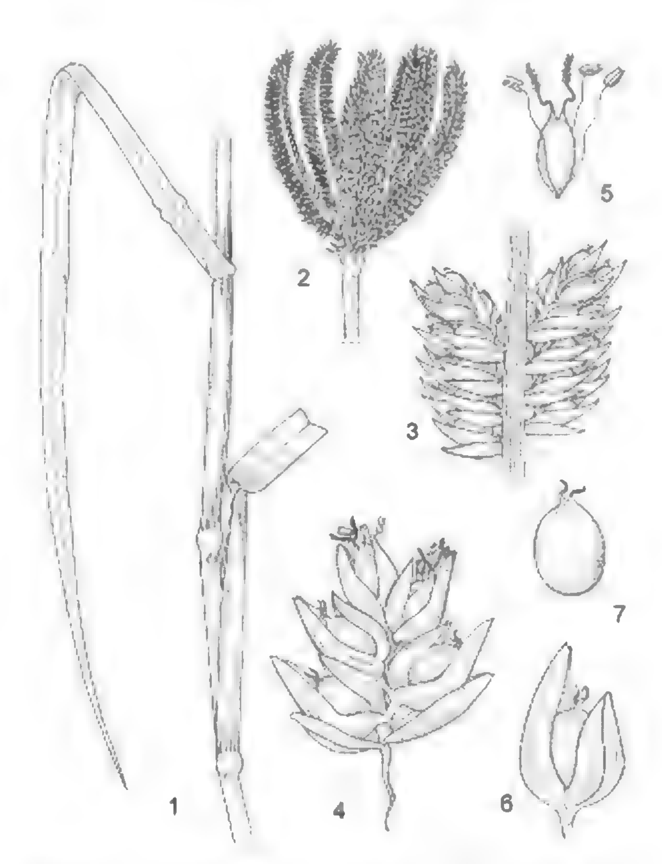
La paille d'éleusine s'emploie comme fourrage pour les bovins, les ovins et les chèvres. Elle produit un excellent foin, et en Inde on la cultive comme plante fourragère. En Ouganda, les sous-produits de la production de bière d'éleusine sont donnés en nourriture aux poulets, aux cochons et à d'autres animaux. L'éleusine a des usages médicinaux, par ex. le grain sert de prophylaxie à la dysenterie. En Afrique australe, le jus obtenu à partir d'un mélange de feuilles d'éleusine et de feuilles de *Plumbago zeylanica* L. se prend en interne comme remède contre la lèpre. La paille d'éleusine s'emploie comme chaume pour les toitures et pour faire des nattes, et en Chine elle sert à la fabrication de papier. Au Soudan, on fabrique des cordes avec les feuilles.

Production et commerce international Dans les statistiques de production et de commerce, l'éleusine est généralement groupée avec le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) et

les millets, tels que le panis (*Setaria italica* (L.) P.Beauv.) et le millet commun (*Panicum miliaceum* L.). La superficie cultivée d'éleusine est estimée à environ 3 millions d'ha, qui produisent chaque année près de 2,5 millions t de grain. L'Inde est le plus gros producteur. La superficie totale cultivée chaque année en Afrique est relativement stable, et légèrement inférieure à 1 million d'ha. Les principaux producteurs africains sont l'Ethiopie, l'Ouganda, le Malawi et le Zimbabwe. En Afrique, la production de grain d'éleusine est destinée à la consommation locale. Les excédents sont vendus sur les marchés locaux. Les échanges à l'échelle internationale, même entre pays voisins, sont négligeables en Afrique.

Propriétés Le grain entier d'éleusine contient par 100 g de partie comestible : eau 10,9 g, énergie 1377 kJ (329 kcal), protéines 7,4 g, lipides 1,3 g, glucides 77,7 g, fibres 4,3 g, Ca 397 mg, P 190 mg, Fe 17,1 mg, traces de β-carotène, thiamine 0,18 mg, riboflavine 0,11 mg et niacine 0,8 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La composition en acides aminés essentiels par 100 g d'aliment est de : tryptophane 107 mg, lysine 213 mg, méthionine 229 mg, phénylalanine 383 mg, thréonine 310 mg, valine 487 mg, leucine 701 mg et isoleucine 324 mg (FAO, 1970). Le grain entier s'emploie en meunerie, fournant une farine à forte teneur en fibres, qui la rendent difficile à digérer. Pour l'alimentation, on préfère le grain de couleur blanche. Pour la fabrication de bière, on préfère le grain sombre, plus amer. En brasserie, l'éleusine possède une activité enzymatique plus importante que celle de n'importe quelle autre céréale, à l'exception de l'orge, ce qui la rend très indiquée. La paille d'éleusine possède une digestibilité in vitro de 40–60%.

Description Graminée annuelle robuste, tallant abondamment, en touffes, atteignant 170 cm de haut ; tige mince, érigée ou géniculée ascendante, glabre et lisse, parfois ramifiée, formant des racines aux nœuds inférieurs ; système racinaire superficiel, ramifié, fibreux. Feuilles alternes, distiques, simples et entières ; gaine aplatie, se chevauchant, fendue sur toute la longueur ; ligule de 1–2 mm de long, fimbriée ; limbe linéaire à linéaire-lancéolé, atteignant 75 cm × 2 cm, généralement replié, scabre sur le dessus. Inflorescence : panicule terminale digitée, souvent avec un ou quelques rameaux (les "pouces") en dessous du groupe principal de 4–19 ramifications (les "doigts") ; ramifications minces à robustes, linéaires à oblongues, atteignant 24 cm de long, réfléchies



Eleusine coracana – 1, partie d'une tige feuillée ; 2, inflorescence ; 3, partie d'une ramification de l'inflorescence ; 4, épillet ; 5, fleur sans lemme ni paléole ; 6, grain à l'intérieur de la lemme et de la paléole ; 7, grain.
Source: PROSEA

lorsqu'elles sont minces et droites à incurvées aux extrémités lorsqu'elles sont vigoureuses, parfois munies de rameaux secondaires, chacune portant 60–80 épillets. Epillets ovoïdes-ellipsoïdes, atteignant 10 mm × 4 mm, la plupart disposés en deux rangs sur un côté du rachis, à (3–)6–9(–12) fleurs ; glume inférieure de 1–4 mm de long, pourvue d'une carène à 3 nervures, glume supérieure de 2–5 mm de long, pourvue d'une carène à (3–)5–7 nervures ; fleurs bisexuées, mais fleurs terminales parfois stériles ou mâles, disposées en 2 rangs opposés ; lemme étroitement ovale, de 2–5 mm de long, paléole légèrement plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, à deux styles libres terminés par un stigmate plumeux. Fruit : grain à paroi libre et molle (utricule), 4–7 par épillet, plus ou moins globuleux, atteignant 2 mm de diamètre, blanc, rouge, brun ou noir ; péricarpe restant distinct au cours du développement et formant à maturité une structure papyracée entourant la graine.

Autres données botaniques Le genre *Eleusine* comprend environ 10 espèces, réparties

dans les régions tropicales et subtropicales d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud. L'ancêtre sauvage le plus probable de l'éleusine est *Eleusine africana* Kenn.-O'Byrne (éleusine sauvage), généralement considéré comme une sous-espèce d'*Eleusine coracana* (subsp. *africana* (Kenn.-O'Byrne) Hilu & de Wet) parce qu'il est également tétraploïde ($2n = 36$) et que lors des croisements avec l'éleusine, il produit des hybrides fertiles. Colonisateur agressif, il forme de vastes populations ininterrompues dans les milieux perturbés, où l'on continue à le récolter comme une céréale sauvage en période de disette. C'est une adventice nuisible pour l'agriculture africaine, qui envahit les champs d'éleusine, et bien qu'il soit avant tout autogame, il arrive qu'il se croise avec la céréale pour former des complexes hybrides d'adventices très variables.

Les cultivars primitifs d'éleusine ressemblent à l'éleusine sauvage par la morphologie de leur inflorescence, mais il leur manque l'aptitude à disperser naturellement leurs graines. Ils sont caractérisés par des inflorescences aux ramifications étalées, droites ou légèrement incurvées à l'extrémité à maturité. Répandus en Afrique, ces cultivars sont également cultivés dans le sud et l'est de l'Inde.

Un second groupe de cultivars africains et indiens des hautes terres se caractérise également par l'étalement des ramifications de l'inflorescence. Les cultivars d'Afrique de l'Est ont habituellement des ramifications qui atteignent 24 cm de long, alors que d'autres en Afrique de l'Est et dans le sud de l'Inde possèdent des ramifications de 10–18 cm de long. Les cultivars africains ont souvent des inflorescences plus minces que les cultivars indiens, ce qui permet aux ramifications de devenir réfléchies à maturité. Certains individus dans les champs de ces cultivars ont parfois des épillets groupés en glomérules le long du rachis.

Un groupe de cultivars morphologiquement distinct est cultivé largement depuis l'Ethiopie jusqu'à la Zambie. Ces cultivars se caractérisent par des inflorescences à ramifications étalées avec de gros épillets étroitement lancéolés, disposés en deux rangs égaux sur un seul côté du rachis. Des cultivars morphologiquement proches sont cultivés dans les montagnes de l'Inde orientale, mais leurs gros épillets ont une disposition irrégulière et ils sont essentiellement disposés tout autour du rachis.

Les cultivars les plus évolués ont des ramifications très prolifiques, groupées de façon à former une structure en forme de poing. Ces cultivars sont cultivés dans toute l'aire de répartition de l'éleusine cultivée en Afrique et dans le sous-continent indien. Les cultivars d'éleusine les plus couramment cultivés en Afrique et en Inde possèdent des inflorescences beaucoup plus petites avec des ramifications plus ou moins étalées qui peuvent s'incurver ou se réfléchir un peu à la maturité.

Croissance et développement Les graines d'éleusine n'ont pas de dormance. Mais elles ne germent toutefois pas dans des sols dépourvus d'une humidité suffisante pour assurer la croissance de la jeune plante. Les jeunes plantes sont sensibles à la sécheresse, mais les plantes adultes entrent en phase de dormance pendant de courtes périodes de sécheresse et produisent de nouvelles talles lorsque les conditions redeviennent favorables. Les plantes, qui tallent fortement et s'enracinent aux nœuds inférieurs, fournissent une excellente protection contre l'érosion des sols. La période de la plantation à la floraison est de 50–120 jours ; le cycle cultural est de 3–6 mois au total. La floraison de chaque inflorescence prend entre 8–10 jours, en allant du haut vers le bas sur les ramifications. Avant tout autogame, l'éleusine présente environ 1% d'allogamie. De fortes pluies au moment de la floraison diminuent la formation de graines. L'éleusine a une photosynthèse en C_4.

Ecologie La croissance optimale de l'éleusine se produit à une température moyenne d'environ 23°C. En Afrique orientale et australe, l'éleusine est cultivée depuis le niveau de la mer jusqu'à 2500 m d'altitude environ, le plus souvent à 1000–2000 m. Sa culture se pratique surtout dans des régions où les précipitations se situent entre 750–1200 mm pendant la saison de croissance. La pluviométrie minimale requise pour l'éleusine est de 300–500 mm, mais en dessous de 750 mm, on cultive plus souvent le sorgho et le mil en raison de leur meilleure tolérance à la sécheresse. L'éleusine est une plante de jours courts, avec une photopériode critique généralement proche de 12 heures.

L'éleusine pousse sur toutes sortes de sols, mais elle préfère les terres fertiles, bien drainées, sableuses à sableuses-limoneuses à capacité de rétention d'eau modérée. Elle préfère un pH de 5–7, mais tolère des sols très alcalins (pH de 11). Elle ne supporte pas l'asphyxie racinaire.

Multiplication et plantation L'éleusine est multipliée par graines. Le poids de 1000 graines est de 2–3 g. Les champs sont préparés à la

houe ou à la charrue tirée par des animaux. Pour lutter contre les mauvaises herbes, on peut labourer les champs au début des pluies, laisser germer les adventices puis labourer une deuxième fois, voire jusqu'à six fois, avant de semer la céréale. Un hersage avant le semis permet aussi de réduire les mauvaises herbes. Le semis s'effectue à la volée ou en lignes derrière la charrue. Des densités de semis de 35 kg/ha peuvent être atteintes lorsque le semis se fait à la volée ; pour le semis en lignes, ces densités ne seront que de 3–10 kg/ha. Dans ce dernier cas, on sème à une profondeur de 2–3 cm sur des lignes espacées de 20–35 cm. Dès que possible, on éclaircit en laissant 5–12 cm entre les plantes sur la ligne. En Inde, on fait parfois germer les graines en pépinière, et les plants sont repiqués au champ à l'âge de 3–4 semaines. Bien qu'elle demande beaucoup de travail, cette pratique permet d'obtenir du grain nouveau bien avant la maturité de l'éleusine semée au champ. Une autre méthode consiste à semer ou à planter l'éleusine 1–2 semaines avant l'apparition présumée des pluies.

L'éleusine est souvent associée à d'autres céréales, des légumes secs ou des légumes. En Ethiopie, les cultures pures d'éleusine sont courantes. En Afrique, ce sont le plus souvent de petits exploitants qui cultivent l'éleusine.

Gestion Les adventices constituent un gros problème chez l'éleusine, et les deux semaines qui suivent la germination sont critiques. Il est courant d'effectuer plusieurs désherbages manuels, ce qui demande beaucoup de main-d'œuvre. Lorsque l'éleusine est semée en lignes, on a souvent recours à des extirpateurs tirés par des animaux. L'éleusine réagit bien aux engrais. Les quantités recommandées sont de 40–60 kg de N, 26–40 kg de P et 30–50 kg de K par ha. Mais les petites exploitations ont rarement les moyens d'acheter des engrais chimiques. L'éleusine réagit tout aussi bien à un apport de fumure organique ou de cendres. Dans certaines parties d'Afrique, l'éleusine est cultivée selon un système agricole itinérant, comme le système "chitemene" en Zambie. Au Kenya et en Tanzanie, elle est souvent la première culture mise en place après le défrichement du terrain, lorsque la pression des adventices est faible et que la fertilité du sol est relativement élevée. La culture de l'éleusine se pratique généralement en rotation avec d'autres cultures annuelles, des légumes secs de préférence. En Ouganda, elle est cultivée après le tabac ou le coton.

Maladies et ravageurs L'éleusine est relativement peu touchée par les maladies et les ravageurs. La maladie la plus grave est la piriculariose provoquée par le champignon *Magnaporthe grisea* (synonyme : *Pyricularia grisea*). Il s'attaque à l'éleusine sur toute son aire de culture. Toutes les parties aériennes sont touchées, depuis la levée jusqu'à la maturité. Une réduction considérable du rendement se produit lorsque les inflorescences sont contaminées au cours de la formation du grain. Les méthodes de lutte font appel à la rotation des cultures et à l'utilisation de cultivars résistants ou tolérants. *Bipolaris nodulosa* (synonyme : *Helminthosporium nodulosum*) entraîne un brûlure des feuilles marron foncé et une pourriture des racines et du collet, tandis que *Helminthosporium leucostylum* provoque la chute des feuilles et une brûlure des semis et des inflorescences.

Parmi les insectes ravageurs, on trouve entre autres la mouche du sorgho (*Atherigona soccata*), des foreurs de tiges, des chenilles, des criquets et des sauterelles ; la coccinelle phytophage (*Epilachna similis*) provoque de temps à autre de sérieux dégâts. Les oiseaux du genre *Quelea* constituent un problème dans certaines régions. Les principales adventices dans la culture d'éleusine en Afrique tropicale sont, entre autres, l'éleusine sauvage *Eleusine indica* (L.) Gaertn. et *Brachiaria deflexa* (Schumach.) Robyns. Difficiles à distinguer de l'éleusine cultivée au cours des premiers stades de développement, ces espèces sont presque impossibles à éliminer correctement. En Ethiopie, l'adventice dicotylédone *Guizotia scabra* (Vis.) Chiov. représente un problème, mais on l'élimine généralement à la main. Le parasite des racines *Striga hermonthica* (Delile) Benth. est présent sur toute l'aire de culture de l'éleusine en Afrique, mais il semble rarement poser de graves problèmes. Lors du stockage, l'éleusine résiste aux insectes en raison de la trop petite taille de ses grains, dans lesquels les charançons ne peuvent se glisser ; elle peut donc se conserver pendant plusieurs années sans dégâts importants.

Récolte En Afrique, les champs d'éleusine sont souvent récoltés en plusieurs passages pour empêcher une perte de grain par égrenage, due à une maturité inégale. La récolte démarre généralement lorsque le grain des génotypes les plus précoces contient environ 10% d'humidité. On coupe les inflorescences une par une et on les laisse sécher.

Rendements En Afrique, les rendements moyens en éleusine-grain, cultivée selon les

méthodes locales, est de 0,25–1,5 t/ha. Dans des conditions expérimentales, avec des cultivars améliorés, une bonne maîtrise des mauvaises herbes et un recours aux engrais, on obtient des rendements jusqu'à 5 t/ha. Les rendements en paille vont de 1–2,5 t/ha pour les cultures pluviales à 9 t/ha pour les cultures irriguées.

Traitement après récolte Le grain d'éleusine se conserve soit tel quel après battage soit sur les inflorescences, que l'on bat selon les besoins. Ce battage s'effectue généralement en frappant les inflorescences avec un bâton. Le grain est moulu à la meule de pierre ou dans un moulin. On peut ajouter un peu d'eau au cours du broyage pour que les grains ne s'éparpillent pas et que le son ne se fragmente pas. Le son grossier est ôté par vannage et peut servir à fabriquer de la bière. La paille est couramment pâturée par le bétail. En Afrique de l'Est, le grain destiné à la brasserie est généralement mis à tremper dans l'eau et laissé à germer pendant 2–3 jours ; après quoi on broie les graines germées, on les mélange à du maïs frit fermenté, du sorgho ou de la farine d'éleusine, et on les met à fermenter dans l'eau à nouveau pendant 2–5 jours.

Ressources génétiques Les principales collections de ressources génétiques d'éleusine sont détenues et évaluées par l'ICRISAT (à son Centre pour l'Asie, Patancheru, Inde), et partiellement dupliquées dans les centres de l'ICRISAT pour l'Afrique australe et orientale (à Bulawayo, Zimbabwe, et à Nairobi, Kenya) et au SADC (à Bulawayo, Zimbabwe). Ces collections de ressources génétiques comportent environ 2800 entrées provenant d'Afrique et près de 2100 originaires d'Asie. Les collections africaines les plus importantes proviennent d'Ouganda, du Zimbabwe, du Kenya, du Malawi et de Zambie, et la plupart des collections asiatiques viennent de l'Inde et du Népal. Une vaste collection (d'environ 2000 entrées, principalement du Kenya) est détenue à la National Genebank of Kenya, à Muguga. Une autre grande collection, qui compte 1300 entrées issues d'Ethiopie, est conservée par l'Institute of Biodiversity Conservation (IBC), précédemment connu sous le nom de Plant Genetic Resources Center of Ethiopia (PGRC/E), à Addis Abeba (Ethiopie). Les ressources génétiques provenant du reste de l'Afrique tropicale et de l'Asie tropicale restent à prospecter.

Sélection Les sélectionneurs d'éleusine doivent identifier une résistance à la piriculariose et l'incorporer dans des cultivars dont le rendement soit acceptable. L'évaluation pour la résistance est en bonne voie. Des progrès sont également accomplis pour réduire la sensibilité à la verse et pour raccourcir le cycle de croissance, et aussi pour augmenter la tolérance au stress hydrique et les rendements obtenus avec les pratiques agricoles traditionnelles. Le castrage et la pollinisation manuels des fleurs d'éleusine sont des tâches laborieuses qui freinent la rapidité des progrès par recombinaison de caractères. Au Zimbabwe, une lignée mâle stérile a été créée. La liste des cultivars améliorés commercialisés en Afrique comporte 'Tadesse', 'Padet' et 'Boneya' en Ethiopie, 'P-283', 'P-224', 'P-221' et 'Serere-1' au Kenya, 'Engeny', 'Serere-1', 'Gulu-E' et 'P-224' en Ouganda, 'Steadfast' et 'M-144' en Zambie et 'FMV-1' et 'FMV-2' au Zimbabwe.
Chez l'éleusine tant cultivée que sauvage, le niveau de polymorphisme des marqueurs ADN est limité. Une carte génétique établie à partir des marqueurs de polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP) et de polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP) est en cours de constitution, à l'aide de croisements entre l'éleusine cultivée et sauvage.

Perspectives La superficie cultivée en éleusine varie d'année en année, à la fois en Afrique et en Asie. Toutefois, la tendance fait apparaître une stabilité ou une augmentation de l'éleusine dans la plupart des pays où elle constitue une céréale de base. Une contrainte de poids pour la production de l'éleusine est la quantité de main-d'œuvre qu'elle requiert, surtout pour le désherbage, la récolte et la mouture. Toutefois, son excellente tenue au stockage, ainsi que le fait qu'en Afrique on la préfère aux autres céréales pour la production de la bière locale garantissent à l'éleusine une place en agriculture.

Références principales Anand Kumar & Renard, 2001; Bisht & Mukai, 2002; Burkill, 1994; de Wet, 1995a; de Wet, 2000; de Wet et al., 1984; Hilu & Johnson, 1997; Hilu, de Wet & Harlan, 1979; Jansen & Ong, 1996; Prasada Rao & de Wet, 1997.

Autres références Acland, 1971; Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1999; Davie & Gordon-Gray, 1977; Dida, Gale & Devos, 2001; Doggett, 1998; FAO, 1970; Harlan, de Wet & Stemler, 1976; Hilu & de Wet, 1976a; Hilu & de Wet, 1976b; Hussaini, Goodman & Timothy, 1977; Kennedy-O'Byrne, 1957; Leung, Busson & Jardin, 1968; McDonough, Rooney & Serna-Saldivar, 2000; Ministry of Agriculture and

Rural Development, 2002; National Research Council, 1996; Phillips, 1972; Phillips, 1995; Riley et al. (Editors), 1993; Weber, 1991.

Sources de l'illustration Jansen & Ong, 1996.

Auteurs J.M.J. de Wet

ERAGROSTIS AETHIOPICA Chiov.

Protologue Rob.-Brich., Somalie & Benadir : 726 (1899).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 20$

Origine et répartition géographique *Eragrostis aethiopica* est réparti depuis l'Erythrée, l'Ethiopie et Djibouti jusqu'à l'Afrique du Sud. On le trouve également dans la partie méridionale de la péninsule Arabique.

Usages Le grain d'*Eragrostis aethiopica* est consommé en Ethiopie. Dans la région de Turkana au Kenya, la plante est mangée par les bovins, les chèvres, les moutons et les ânes, mais en Ethiopie on la trouve peu importante pour le pâturage.

Botanique Graminée annuelle atteignant 75 cm de haut, érigée ou ascendante ; tige (chaume) mince, solitaire ou en touffe, souvent pourvue de glandes ponctuées en dessous des nœuds. Feuilles alternes, simples ; gaine glabre ; ligule constituée d'une rangée de poils ; limbe linéaire, de 3–20 cm × 1–3 mm, aplati ou involuté, glabre. Inflorescence : panicule ellipsoïde, lâche et ouverte, atteignant 26 cm de long, rameaux et pédicelles minces et souples, rameaux primaires du bas habituellement en verticilles mais parfois solitaires ou en paires. Epillet linéaire à oblong, de 1,5–7 mm × 0,5–1 mm, à 4–9(–28) fleurs bisexuées ; glumes inégales, hyalines, glume inférieure sans nervures et atteignant 0,5 mm de long, glume supérieure lancéolée, atteignant 1 mm de long ; lemme d'environ 1 mm de long, finement membraneuse, obtuse ; paléole pourvue d'une carène lisse ; étamines 3, anthères d'environ 0,2 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain), ellipsoïde, d'environ 0,5 mm de long.

Eragrostis est un genre vaste et complexe du point de vue taxinomique, qui comprend plus de 350 espèces, surtout dans les régions tropicales et subtropicales, et dont 14 seraient endémiques de l'Ethiopie. Le diploïde *Eragrostis aethiopica* ressemble beaucoup au tétraploïde *Eragrostis pilosa* (L.) P.Beauv., espèce fourragère dont le grain est parfois consommé par l'homme. Le premier se distingue du second par son port plus délicat, ses épillets plus petits aux lemmes moins pointues, son grain moins gros et l'absence de longs poils soyeux sur l'axe inférieur de la panicule. En outre, *Eragrostis pilosa* n'est jamais glanduleux. En Afrique australe, *Eragrostis aethiopica* fleurit de janvier à mai.

Ecologie *Eragrostis aethiopica* se rencontre jusqu'à 1600 m d'altitude dans les zones semi-désertiques et de savane, sur le sable, le limon ou l'argile, par ex. dans les herbages des plaines inondables, les petites zones humides temporaires (vleis), au bord des cuvettes, au bord des rivières et dans leur lit, mais également dans les milieux perturbés comme le bord des routes et les terres cultivées. Il est parfois considéré comme une adventice, par ex. au Mozambique.

Gestion *Eragrostis aethiopica* se récolte dans la nature.

Ressources génétiques et sélection Le National Genebank of Kenya de Kikuyu, (Kenya), et l'USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station de Pullman, Washington (Etats-Unis), détiennent chacun une entrée d'*Eragrostis aethiopica*. Cette espèce est répandue, voire commune dans de nombreuses régions, et n'est donc pas sujette à l'érosion génétique.

Perspectives Le rôle d'*Eragrostis aethiopica* restera limité à celui d'une ressource alimentaire et fourragère locale.

Références principales Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1999; Gibbs Russell et al., 1990; Phillips, 1995; Zemede Asfaw & Mesfin Tadesse, 2001.

Autres références Cope, 1995; Fröman & Persson, 1974; Holm, Pancho & Herberger, 1979; IPGRI, undated; Morgan, 1981; SEPASAL, 2003; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001.

Auteurs M. Brink

ERAGROSTIS ANNULATA Rendle ex Scott-Elliot

Protologue Journ. Bot. 29: 72 (1891).

Famille Poaceae (Gramineae)

Noms vernaculaires Eragrostis annelé (Fr). Ringed lovegrass, ring windgrass (En).

Origine et répartition géographique *Eragrostis annulata* est présent en Angola, en Namibie, au Botswana et en Afrique du Sud.

Usages Le grain d'*Eragrostis annulata* est consommé en Namibie.

Propriétés *Eragrostis annulata* a une odeur déplaisante.

Botanique Graminée annuelle en touffe lâche, atteignant 40 cm de haut ; tige (chaume) ascendante, pourvue d'un anneau glandulaire en dessous des nœuds. Feuilles alternes, simples ; gaine à poils clairsemés, les poils minces mélangés à des poils plus courts à glande terminale ; ligule constituée d'une rangée de poils ; limbe linéaire, de 2–12 cm × 1–5 mm, aplati, à poils clairsemés, pourvu de glandes dispersées en forme de cratères le long des bords et d'une rangée de ponctuations glandulaires le long de la nervure médiane en dessous. Inflorescence : panicule ovoïde de 4–20 cm de long, relativement dense à ouverte, à rameaux raides, rameaux primaires non verticillés, se terminant en un épillet fertile. Epillet sur un pédicelle de 1–3 mm de long, pourvu d'une glande annulaire bien distincte, étroitement oblong ou parfois linéaire, comprimé latéralement, de 3–9(–15) mm × 1,5–2,5 mm, à 6–16(–40) fleurs bisexuées ; glumes presque égales, étroitement ovales, atteignant 1 mm de long, carénées, apex aigu ; lemme ovale à largement ovale, de 1,5–2 mm de long, carénée, papyracée, glabre, apex obtus ; paléole glabre sur les côtés, persistante ; étamines 3, anthères de 0,5–1 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) plus ou moins carré d'environ 0,5 mm de long, présentant une dépression superficielle à profonde le long de la face arrière.

Eragrostis est un vaste genre, complexe du point de vue taxinomique, qui comprend plus de 350 espèces, principalement dans les régions tropicales et subtropicales. *Eragrostis annulata* ressemble à l'espèce fourragère *Eragrostis cilianensis* (All.) F.T.Hubb., mais cette dernière n'a pas de poils à glande terminale et son grain est globuleux.

Dans sa région d'origine, *Eragrostis annulata* fleurit de février à mai.

Ecologie *Eragrostis annulata* est présent sur de nombreux types de sols, en particulier les terres sableuses, caillouteuses ou calcaires où la nappe phréatique est élevée, et dans les endroits perturbés.

Gestion *Eragrostis annulata* se récolte dans la nature.

Ressources génétiques et sélection La Division of Plant and Seed Control, Department of Agriculture Technical Service de Pretoria (Afrique du Sud) détient 2 entrées d'*Eragrostis annulata*. Cette espèce se rencontre dans des habitats très divers et sur un territoire relativement vaste, et par conséquent, elle n'est pas sujette à l'érosion génétique.

Perspectives Le rôle d'*Eragrostis annulata* comme ressource alimentaire est très limité et il est probable qu'il le restera.

Références principales Cope, 1999; de Villiers & Kok, 1988; Gibbs Russell et al., 1990; Klaassen & Craven, 2003; Launert, 1970.

Autres références IPGRI, undated; Missouri Botanical Garden, undated; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001.

Auteurs M. Brink

ERAGROSTIS NINDENSIS Ficalho & Hiern

Protologue Trans. Linn. Soc. London, Bot. 2: 32 (1881).

Famille Poaceae (Gramineae)

Synonymes *Eragrostis denudata* Hack. (1895).

Noms vernaculaires Eragrostis vivace (Fr). Perennial lovegrass, wether lovegrass (En).

Origine et répartition géographique *Eragrostis nindensis* est réparti depuis la R.D. du Congo et la Tanzanie jusqu'en Afrique du Sud.

Usages En Namibie, le grain d'*Eragrostis nindensis* est consommé. C'est une plante de pâturage bien appétée, appréciée par les moutons en particulier. On suce les jeunes feuilles pour soigner les rhumes.

Botanique Graminée vivace en touffe atteignant 90 cm de haut, à court rhizome oblique ; tige (chaume) érigée, non ramifiée, glabre aux nœuds. Feuilles alternes, simples, réunies pour la plupart en une touffe basale ; gaine glabre ou à poils droits et soyeux, cylindrique ; ligule constituée d'une rangée de poils ; limbe linéaire, de 5–30 cm × 2–3 mm, involuté, rarement plat. Inflorescence : panicule de 5–20 cm de long, ovoïde, à rameaux primaires raides et étalés, ou étroitement lancéolée et densément contractée, ou encore linéaire et interrompue avec des épillets en fascicules sur de courts rameaux latéraux, rameaux primaires non verticillés, se terminant en un épillet fertile. Epillet subsessile, ovale à étroitement oblong, fortement comprimé latéralement, de 4–20 mm × 1,5–4 mm, à 7–30 fleurs bisexuées, vert jaunâtre foncé à gris terne ; glumes presque égales, ovales, de 1–2 mm de long, carénées, glabres, apex aigu ; lemme ovale, de 2–3.5 mm de long, carénée, coriace, apex aigu à acuminé ; paléole oblongue-elliptique, glabre sur les côtés ; étamines 3, anthères de 1–1,5 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde de 1–1,5 mm de long.

Eragrostis est un vaste genre, complexe du point de vue taxinomique, qui comprend plus

de 350 espèces, principalement dans les régions tropicales et subtropicales. *Eragrostis nindensis* est une espèce polymorphe, qui varie énormément dans la forme de l'inflorescence et de l'épillet.

En Afrique australe, *Eragrostis nindensis* fleurit d'octobre à juin. C'est ce qu'on appelle une plante réviviscente, capable de survivre à la dessiccation quasi intégrale de ses tissus. Il conserve dans ses feuilles une eau mobile, même lorsqu'il s'est naturellement desséché à une teneur inférieure à 20%. Il désassemble également des chloroplastes lorsqu'il est trop sec pour maintenir une photosynthèse, afin d'éviter le stress oxydatif induit par la lumière. Les semis, cependant, sont sensibles à la sécheresse.

Ecologie *Eragrostis nindensis* est présent dans les lieux dénudés, exposés ou perturbés, à 600–2400 m d'altitude, souvent sur des sols sableux humides ou caillouteux, ainsi que sur des affleurements granitiques.

Gestion *Eragrostis nindensis* se récolte dans la nature.

Ressources génétiques et sélection L'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI) d'Addis Abeba (Ethiopie) détient 3 entrées d'*Eragrostis nindensis*.

Perspectives Le rôle d'*Eragrostis nindensis* comme aliment ou comme fourrage demeurera restreint, quoique sa capacité à survivre dans des conditions de sécheresse offre certaines perspectives dans les régions arides et semi-arides.

Références principales Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1999; Gibbs Russell et al., 1990; Klaassen & Craven, 2003; van Oudtshoorn, 1999.

Autres références Balsamo et al., 2005; IPGRI, undated; Mundree et al., 2002; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001; vander Willigen et al., 2003.

Auteurs M. Brink

ERAGROSTIS PLANA Nees

Protologue Fl. Afr. austral. ill. : 390 (1841).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $n = 10$

Noms vernaculaires Eragrostis d'Afrique du Sud (Fr). Tough lovegrass, South-African lovegrass (En). Capim chorão, capim teff (Po).

Origine et répartition géographique En Afrique tropicale, *Eragrostis plana* est présent au Malawi, en Zambie, au Zimbabwe et au Mozambique. On le trouve également en Afrique du Sud, au Lesotho et au Swaziland. Il a été introduit dans d'autres parties du monde comme l'Inde et le Brésil et s'y est naturalisé.

Usages Le grain d'*Eragrostis plana* est un aliment de famine. *Eragrostis plana* est considéré comme une herbe de pâturage de mauvaise qualité, mais il est utilisé à la fin de la saison des pluies dans les régions arides. Au Lesotho, il sert à tresser des chapeaux, des paniers, des colliers et des bracelets, et on en fait des cordes et des objets nattés utilisés lors des enterrements. En Afrique du Sud, sa racine sert à traiter la ménorragie et l'impuissance.

Botanique Graminée vivace en touffe dense atteignant 1 m de haut, sans rhizomes ni stolons ; tige (chaume) érigée, non ramifiée. Feuilles alternes, simples ; gaine glabre, fortement comprimée, carénée ; ligule constituée d'une rangée de poils ; limbe linéaire, de 10–80 cm × 1,5–5 mm, plat ou replié, glabre, parfois garni de glandes ponctuées le long de la nervure médiane. Inflorescence : panicule étroitement oblongue à étroitement ovoïde de 10–35 cm de long, rameaux ascendants ou étalés ; rameaux primaires non verticillés, mais parfois en grappe lâche, se terminant en un épillet fertile. Epillet sur un pédicelle de 1,5–2 mm de long, linéaire à étroitement oblong, de 6–13,5 mm × 0,5–2 mm, à 9–13 fleurs bisexuées ; glumes inégales, glume inférieure de 0,5–1 mm de long, glume supérieure de 1–1,5 mm de long, carénée ; lemme de 2–2,5 mm de long, carénée, membraneuse à nervures latérales proéminentes, vert olive ; paléole à carène mince, persistante ; étamines 3, anthères de (1–)1,5–2 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) oblong à ellipsoïde d'environ 1 mm de long.

Eragrostis est un vaste genre, complexe du point de vue taxinomique, qui comprend plus de 350 espèces, principalement dans les régions tropicales et subtropicales.

Eragrostis plana fleurit de septembre à mai. Il a une photosynthèse en C_4.

Ecologie *Eragrostis plana* est présent à partir de 400–2000 m d'altitude dans les savanes herbeuses sur sols sableux et dans des puits superficiels de latérite, et dans les régions sèches sur les sols humides près des zones humides temporaires (vleis) et des rivières. Lorsqu'il est commun dans un pâturage, on le considère comme un indicateur de surpâturage ou de brûlis trop fréquents.

Gestion *Eragrostis plana* se récolte dans la nature.

Ressources génétiques et sélection La USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station, de Pullman, Washington (Etats-Unis) détient 3 entrées d'*Eragrostis plana*, le Royal Botanic Gardens de Kew (Royaume-Uni) 2 entrées. Cette espèce est commune dans des zones perturbées, et n'est donc pas sujette à l'érosion génétique.

Perspectives *Eragrostis plana* n'est consommé que pendant les périodes de famine, et c'est une médiocre espèce de pâturage. Il est donc improbable qu'il prenne davantage d'importance dans l'avenir.

Références principales Cope, 1999; Gibbs Russell et al., 1990; Jacot Guillarmod, 1971; van Oudtshoorn, 1999; van Wyk & Gericke, 2000.

Autres références Botha, 1992; IPGRI, undated; Neuwinger, 2000; O'Reagain & Grau, 1995; Spies & Jonker, 1987; Steenkamp, 2003; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001.

Auteurs M. Brink

ERAGROSTIS TEF (Zuccagni) Trotter

Protologue Boll. Soc. Bot. Ital. 1918: 62 (1918).

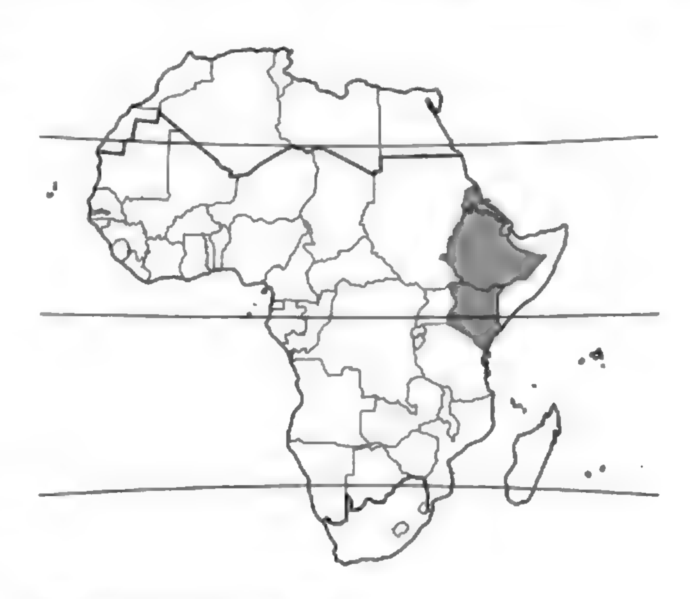
Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 40$

Synonymes *Eragrostis abyssinica* (Jacq.) Link (1827), *Eragrostis pilosa* (L.) P.Beauv. subsp. *abyssinica* (Jacq.) Asch. & Graebn. (1900).

Noms vernaculaires Tef, teff (Fr). Tef, teff, teff grass (En). Tef (Po).

Origine et répartition géographique Le tef est originaire du nord de l'Ethiopie, où il est largement cultivé. On sait peu de choses sur sa domestication, mais il est possible qu'elle soit antérieure à l'introduction du blé et de l'orge dans cette région. Le tef descend peut-être d'*Eragrostis pilosa* (L.) P.Beauv., espèce sauvage étroitement apparentée, tétraploïde ($2n = 40$) et annuelle comme lui, et dont la répartition est cosmopolite. La culture du tef pour son grain est restée essentiellement confinée à l'Ethiopie et dans une certaine mesure aux hautes terres d'Erythrée. Mais il est également cultivé au nord du Kenya. A petite échelle, il existe une production commerciale de tef en Afrique du Sud, aux Etats-Unis, au Canada, en Australie, en Europe (Pays-Bas) et au Yémen. Le tef est cultivé aussi comme plante fourragère, par exemple en Afrique du Sud, au Maroc, en Australie, en Inde et au Pakistan. Dans d'autres pays tropicaux, il a fait l'objet d'une introduction à titre expérimental, soit pour son grain, soit pour son foin ; c'est le cas des autres régions de l'Afrique orientale et australe. On le rencontre couramment à l'état subspontané.



Eragrostis tef – planté

Usages En Ethiopie et en Erythrée, la farine de tef s'emploie surtout pour confectionner l' "injera", un pain peu épais, aplati et en forme de crêpe, fait à partir d'une pâte mise à fermenter pendant 2 à 3 jours. L'injera, qui se fabrique dans toutes les tailles, se consomme avec différentes sauces (appelées "wot"), à base de viande ou de légumes secs. C'est la farine de tef qui produit la meilleure qualité d'injera : souple, molle et d'aspect brillant, elle ne colle pas aux doigts, ne se déchire pas quand on la manipule et elle a un goût un peu aigre. On peut ajouter du fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) en petite quantité pour améliorer le goût de l'injera. Il en augmente également la teneur en lysine. On mélange aussi de la farine d'orge ou de sorgho à la farine de tef pour confectionner l'injera. Parmi les autres préparations traditionnelles à base de farine de tef, il faut citer le "kitta" (pain non levé), l' "atmit" ou "muk" (gruau), des bouillies et des boissons alcoolisées locales. Plusieurs recettes adaptées au goût des Occidentaux ont été élaborées avec de la farine de tef, aux Etats-Unis notamment, où elle a trouvé des créneaux dans le marché de l'alimentation diététique et comme spécialité gastronomique. Dans tout un ensemble de produits, la farine de tef sert d'épaississant, par ex. dans les soupes, les ragoûts, les sauces au jus de viande et certains desserts.

En Ethiopie, la paille de tef est employée

comme fourrage, surtout au cours de la saison sèche. Mélangée à de l'argile, elle donne du pisé pour les maisons locales ; on en fait aussi des briques, des fourneaux, des greniers, des lits et des poteries.

En dehors de l'Ethiopie, le tef est surtout cultivé pour son foin (par ex. en Afrique du Sud) et comme fourrage vert (par ex. au Maroc ou en Inde). En Afrique du Sud, on le plante pour lutter contre l'érosion, souvent en mélange avec *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees ou avec d'autres graminées.

Production et commerce international En 1992–1998, on cultivait chaque année 1.9 million d'ha de tef en Ethiopie, ce qui représente environ 30% de la superficie totale cultivée en céréales dans ce pays. Avec une production moyenne de 1.6 million de t de grains par an, le tef constitue 22% de la production annuelle de céréales en Ethiopie. Chaque année, on produit en moyenne 4 millions de t de fourrage de tef (27% de la production nationale). En Ethiopie, ce sont des petits exploitants qui cultivent le tef, celui-ci étant surtout destiné au marché local et à la consommation familiale. Les statistiques des années 1997/98 et 1998/99 indiquent que 1800 t de grains de tef ont été exportés chaque année. Bien que l'on ne dispose d'aucune statistique récente, il existe pour cette denrée un marché à l'export, au Proche-Orient, en Amérique du Nord et en Europe, principalement pour les immigrés éthiopiens.

Propriétés La composition des grains de tef entiers par 100 g de partie comestible est : eau 11 g, énergie 1407 kJ (336 kcal), protéines 9.6 g, lipides 2,0 g, glucides 73 g, fibres 3,0 g, Ca 159 mg, Mg 170 mg, P 378 mg, Fe 5,8 mg, Zn 2 mg, thiamine 0,3 mg, riboflavine 0,2 mg, niacine 2,5 mg et acide ascorbique 88 mg (National Research Council, 1996). La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est : tryptophane 146 mg, lysine 273 mg, méthionine 246 mg, phénylalanine 474 mg, thréonine 334 mg, valine 491 mg, leucine 724 mg et isoleucine 378 mg (FAO, 1970). Les grains d'amidon du tef sont des conglomérats constitués de nombreux granules polygonaux simples de 2–6 µm de diamètre. Leur teneur en amylose est de 25–30%. La zone de température de gélatinisation de Kofler en phase chaude est de 68°C (début) – 74°C (pic) – 80°C (conclusion) ; ce sont des valeurs comparables à l'amidon d'autres céréales tropicales, mais la fourchette est plus étroite que celle du maïs. La viscosité de cet amidon est bien plus faible que celle de l'amidon de maïs, son indice d'absorption d'eau est plus élevé, et son indice de solubilité dans l'eau est plus bas.

En raison de la petite taille de ses grains, on ne produit habituellement que de la farine complète de tef (son et germe inclus), ce qui lui donne une haute valeur nutritive. La composition de la farine de tef en acides aminés est bonne et ses protéines sont facilement assimilables. Excellente source de minéraux, notamment Ca et Fe, le tef joue semble-t-il un rôle dans le faible taux de cas d'anémie en Ethiopie. Comme il ne contient pas de gluten, cela en fait un bon substitut du blé dans les régimes des personnes atteintes de maladies cœliaques. Plusieurs espèces de levures et de bactéries entrent en jeu dans la préparation de l'injera, mais on sait peu de choses quant à leur identité et à leur importance relative. En Ethiopie, ce sont les types à grains blancs qui sont préférés dans l'alimentation, mais la consommation d'injera préparé à partir de types à grains rouges ou bruns est en augmentation, en particulier chez les citadins soucieux de leur santé.

Le bétail préfère la paille de tef à la paille d'autres céréales et sa qualité est comparable à celle d'une bonne pâture naturelle. Les analyses font ressortir une digestibilité relativement élevée (65%), mais une teneur assez faible en protéines (1,9–5,2%).

Description Graminée annuelle cespiteuse, atteignant 150(–200) cm de haut, à système racinaire fibreux et superficiel ; tige (chaume) habituellement érigée, simple ou peu ramifiée. Feuilles 2–6 par chaume, alternes, simples ; gaine glabre ; ligule de 0,5–1 mm de long, ciliée ; limbe linéaire, de 25–45 cm × 0,1–0,5 cm, glabre. Inflorescence : panicule de 10–65 cm de long, à 10–40 rameaux primaires fins, très lâche à rachis central complètement exposé ou très compacte à rachis central totalement invisible, portant 30–1100 épillets par panicule. Epillets à pédicelle long, étroitement oblongs, de 4–9 mm × 1–3 mm, à 2–12(–20) fleurs ; fleurs bisexuées ; glumes inégales, lancéolées, acuminées, glume inférieure de 1–2,5 mm de long, glume supérieure de 1,5–3 mm de long ; lemme de 2–3 mm de long, à 3 nervures, scabéruleuse sur la carène et vers l'extrémité acuminée, vert pâle à violet foncé ; paléole similaire à la lemme, mais à 2 nervures ; étamines 3, anthères atteignant 0,5 mm de long, 2-loculaires ; ovaire supère à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) ovoïde à ellipsoïde, de 1–1,5 mm × 0,5–1 mm, blanc jaunâtre à brun foncé.

Autres données botaniques On ne sait pas grand chose sur la biosystématique d'*Eragros-*



Eragrostis tef – 1, partie supérieure d'un chaume en fleurs ; 2, partie de l'inflorescence avec épillets.
Redessiné et adapté par Iskak Syamsudin

tis, genre vaste et complexe du point de vue taxinomique qui comprend plus de 350 espèces, principalement dans les régions tropicales et subtropicales, dont 14 seraient endémiques à l'Ethiopie. Le tef est la seule espèce d'*Eragrostis* cultivée pour son grain. Les grains de plusieurs espèces fourragères sont parfois consommés par les hommes, surtout comme aliment de famine, notamment *Eragrostis cilianensis* (All.) F.T.Hubb., *Eragrostis ciliaris* (L.) R.Br., *Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees, *Eragrostis cylindriflora* Hochst., *Eragrostis gangetica* (Roxb.) Steud., *Eragrostis pilosa* (L.) P.Beauv., *Eragrostis tremula* Steud. et *Eragrostis turgida* (Schumach.) De Wild.

Les relations génétiques entre espèces sont pratiquement inconnues. L'hybridation du tef est une opération fastidieuse, ce qui n'incite pas à faire de nombreux essais de croisements. *Eragrostis tef* est un allotétraploïde dont les progéniteurs diploïdes sont inconnus.

On a distingué et décrit les cultivars de tef en fonction de la couleur des graines et des inflorescences, de la ramification des inflorescences et de la taille des plantes. Commercialement, le tef est classé en fonction de la couleur des graines : "netch" (blanches), "tikur/ka'y" (brun-rouge) et "sergegna" (mélangées). La variation moléculaire mise en évidence par les marqueurs ADN (RFLP, RAPD et AFLP) n'a rien à voir avec la variation morphologique.

Croissance et développement La germination du tef a lieu habituellement 3–4(–12) jours après le semis. Dans des essais, la germination dépassait les 90% à des températures comprises entre 15–35°C ; aucune germination n'a eu lieu à 10°C. On ne remarque pas de stade de gonflement de l'épi chez le tef : les inflorescences sortent brusquement de la gaine de la feuille supérieure, sans qu'il y ait gonflement. Les fleurs s'ouvrent le matin (entre 7–9 heures), réagissant à la lumière et à la température. Le tef est avant tout autogame, avec un très faible niveau d'allogamie (pas plus de 1%) et le pollen est émis en début de matinée. Dans l'inflorescence, la maturité florale démarre à partir du haut et progresse vers le bas, tandis que dans l'épillet, elle progresse de la base vers le haut. Les graines mûrissent dans le mois qui suit la fécondation. Le cycle complet de croissance, du semis à la maturité, prend 2–5(–6) mois. Le tef a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Le tef est une céréale qui montre une grande souplesse d'adaptation et pousse dans des milieux très divers, depuis le niveau de la mer jusqu'à 2800 m d'altitude. Les rendements les plus élevés sont obtenus à des altitudes de 1800–2100 m, avec une pluviométrie annuelle de 750–850 mm, des précipitations saisonnières (juillet–décembre) de 450–550 mm et des températures journalières moyennes comprises entre 15–27°C. Les rendements chutent lorsque les précipitations saisonnières passent sous la barre des 250 mm et que la température moyenne au moment de la pollinisation dépasse 22°C, mais aussi quand la période de croissance est inférieure à 90 jours, ce qui rend alors nécessaire le recours à des cultivars précoces. Malgré son système racinaire superficiel, le tef résiste à la sécheresse en raison de sa capacité à se régénérer rapidement après un stress hydrique modéré et à produire du grain sur une période relativement courte. Sa croissance végétative rapide et son cycle de vie court rendent le tef particulièrement adapté aux régions sujettes à une sécheresse après de brèves précipitations. Chez le tef, la floraison est retardée en période de jours longs. En Ethiopie, la majeure partie de la production de tef a lieu au cours de la principale saison des pluies ("meher"), entre juillet et novembre. Le tef est cultivé le plus souvent sur des vertisols

(terres noires, lourdes et argileuses aux horizons bien nets) et des andosols (terres jeunes, peu profondes, résultant de l'érosion de cendres volcaniques en conditions humides). Le tef cultivé sur vertisol donne des rendements plus élevés, à condition qu'il n'y ait pas d'asphyxie racinaire prolongée et que les nutriments, notamment azotés, soient suffisamment disponibles. Les cultivateurs atténuent généralement les effets de l'asphyxie racinaire en ajustant leur date de semis ou en ayant recours à des systèmes de drainage de surface (sillons). Les carences en micronutriments peuvent aussi constituer des facteurs limitants sur les vertisols. Le tef est normalement cultivé sur des sols à pH neutre, mais on a observé qu'il pouvait supporter une acidité correspondant à des pH inférieurs à 5. Il existe des différences entre les cultivars quant à leur réponse à la salinité. Le tef se rencontre à l'état subspontané le long des routes et des voies ferrées, ainsi que dans la savane herbeuse sèche sur les limons sablonneux.

Multiplication et plantation Le tef est reproduit par graines. Il n'y a pas de dormance des graines et la germination est rapide. Le poids de 1000 graines est de 200–500 mg. Une seule inflorescence peut produire plus de 1000 graines et une seule plante plus de 10 000. Les graines de tef restent viables pendant plusieurs années, à condition d'éviter le contact direct avec l'humidité et le soleil. En Ethiopie, la production de tef fait appel à des pratiques traditionnelles vieilles de plusieurs siècles. Pour travailler la terre, on utilise une charrue tirée par des bœufs (la "maresha"), qui repasse 2–5 fois avant le semis. Des études montrent qu'on peut faire pousser du tef en conditions culturales simplifiées (un seul labour, afin d'amener les graines en contact avec la terre), à condition d'utiliser des herbicides non sélectifs. Pour améliorer la germination et l'installation des jeunes plantes sur les vertisols, on affermit le lit de semis en le faisant piétiner par des animaux domestiques. D'habitude, les paysans sèment le tef à la volée sur un lit de semis fin et humide. Une quantité de semences de 15–30 kg/ha est suffisante, mais les paysans vont souvent jusqu'à 40–50 kg/ha, parce que les semences sont difficiles à répartir de manière égale, que la viabilité des semences de ferme est moindre et aussi que cela aide à supprimer les mauvaises herbes aux premiers stades. On laisse les graines en surface ou bien on les recouvre légèrement à l'aide de branches tirées par des bœufs sur le champ. On peut également semer le tef en lignes à l'aide d'équipements agricoles adaptés. Une plantation en lignes réduit la verse lorsque la croissance est bonne. On pratique habituellement la culture pure, mais il arrive que des cultivars précoces de tef soient utilisés dans des systèmes de culture associée, y compris la culture décalée et la culture en allée.

On a réussi à mettre au point des protocoles d'embryogenèse somatique et de régénération de plantes in vitro, en partant de la feuille, de la racine ou de la graine pour démarrer des cultures de tissus dans un milieu de Murashige et Skoog.

Gestion Une fois la culture installée, la plupart des paysans luttent contre les mauvaises herbes en désherbant à la main une ou deux fois. Certains ont recours à des herbicides tels que le 2,4-D pour éliminer les dicotylédones, complété par un désherbage manuel pour éliminer les graminées. Les apports suivants sont préconisés sur sol léger : 25–40 kg de N et 10–18 kg de P par ha ; et sur les terres argileuses lourdes : 50–60 kg de N et 10–15 kg de P par ha. Le tef répond davantage à l'azote qu'au phosphore en produisant des plantes de grande taille et de grandes quantités de biomasse ; en conséquence, des quantités élevées d'azote favorisent la verse. Pour réduire ce risque, les paysans diminuent l'apport en azote ou sèment leur tef après une culture de légumes secs sans remettre d'engrais, et ils diffèrent le moment de semer, de manière à ce que les pluies aient cessé au moment de l'épiaison. La rotation du tef avec d'autres céréales, des légumes secs et du noug (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass.) est pratique courante en Ethiopie.

Maladies et ravageurs On connaît de nombreuses maladies (principalement d'origine fongique) et de ravageurs qui s'attaquent au tef, mais seules quelques-unes ont une importance économique, mais dans des lieux limités et lors d'années particulières. Parmi ces maladies, la rouille des feuilles (*Uromyces eragrostidis*), l'helminthosporiose (*Helminthosporium miyakei*) et la fonte des semis (*Drechslera* spp. et *Epicoccum nigrum*) sont les plus importantes. Une faible densité de semis et un semis précoce diminuent les dégâts provoqués respectivement par la rouille des feuilles et la fonte des semis. Des fongicides permettant de lutter contre ces deux maladies ont été identifiés au niveau expérimental, mais on ne leur connaît aucun cas d'emploi au champ. Il n'y a pas eu de sélection pour la résistance, en raison d'une variation génétique limitée pour ce caractère,

ainsi que de la nature sporadique des maladies et de leur spécificité écologique. On ne connaît aucune maladie d'origine virale ou bactérienne. Parmi les ravageurs connus pour s'attaquer aux graines de tef en cours de germination et aux plantules, il faut citer la sauterelle de brousse (*Decticoides brevipennis*), la noctuelle du tef (*Mentaxya ignicollis*), d'autres sauterelles, des fourmis et des termites. Le coléoptère noir du tef (*Erlangerius niger*) s'attaque quant à lui aux inflorescences. Parmi les adventices, ce sont les graminées annuelles qui sont responsables des dégâts les plus importants. L'adventice parasite *Striga hermonthica* (Delile) Benth., l'adventice envahissante *Parthenium hysterophorus* L., récemment introduite, et le liseron cosmopolite *Convolvulus arvensis* L. sont également devenues problématiques. Un désherbage manuel et une rotation des cultures, particulièrement avec des légumes secs, sont les méthodes les plus courantes pour traiter ces mauvaises herbes du tef, le recours aux herbicides restant très limité. Si les grains de tef stockés ne sont pas attaqués par les insectes des greniers, les rongeurs peuvent constituer en revanche un problème.

Récolte Le tef est récolté au bout de 2–5(–6) mois après le semis, lorsque les parties végétatives se mettent à jaunir. Le jaunissement du pédicelle de l'épillet est un bon indicateur de maturité. Si la récolte est effectuée après la maturité physiologique, l'égrenage est inévitable, en particulier par temps venteux et pluvieux. En Ethiopie, la récolte débute en novembre et se poursuit jusqu'en début janvier. Elle se fait à la main à l'aide de faucille. Les paysans coupent les plantes au niveau du sol, les entassent sur le champ et les transportent jusqu'à l'aire de battage. Dans le cas d'une culture de foin, il est possible normalement de récolter 9–12 semaines après le semis.

Rendements Les rendements en grains de tef sont inférieurs à 1 t/ha, mais les paysans qui utilisent des cultivars améliorés et suivent de bonnes pratiques culturales atteignent facilement 1,7–2,5 t/ha. Des rendements supérieurs à 2,5 t/ha ont été enregistrés dans plusieurs régions en Ethiopie à l'occasion de récents programmes de vulgarisation. Dans des essais, des rendements allant jusqu'à 4,6 t/ha ont été obtenus. Pour la paille, les rendements sont normalement de 3 t/ha, mais on a déjà enregistré des productions jusqu'à 20 t/ha.

Traitement après récolte On procède au battage par dépiquage (en faisant piétiner la récolte par des animaux domestiques). Certains cultivateurs louent des moissonneuses-batteuses servant aux autres céréales pour le battage. Le tef se conserve dans n'importe quelle installation de stockage disponible sur place. Comme il n'est pas attaqué par les insectes des greniers, il ne nécessite aucune protection chimique. Il arrive même que les paysans mélangent les graines de tef avec celles de légumes secs pour protéger ces dernières des charançons. Le tef est traditionnellement vendu en Ethiopie sous forme de grains et non de farine. La paille est entassée à proximité des maisons des agriculteurs qui nourrissent ainsi leur bétail pendant la saison sèche ; ils en vendent parfois une petite partie.

Ressources génétiques L'Institute of Biodiversity Conservation (IBC), autrefois connu sous le nom de Plant Genetic Resources Center of Ethiopia (PGRC/E), détient 2541 entrées de tef recueillies dans différentes régions agro-écologiques, et 1497 entrées acquises à travers des dons et des rapatriements. Actuellement, l'IBC ne possède aucune collection d'espèces sauvages d'*Eragrostis*. La plus grande partie des collections de ressources génétiques de tef est conservée ex situ : les graines sont séchées pour atteindre un taux d'humidité de 3–7% et elles sont conservées dans des sacs doublés d'aluminium à –10°C pour un stockage de longue durée et à 4°C pour un stockage de courte durée. Dans certaines régions d'Ethiopie, on a recours à la conservation et à l'amélioration in situ, avant tout pour aider les paysans à maintenir la diversité de l'espèce et à préserver les principaux types cultivés de l'extinction tout en améliorant leur potentiel de rendement. Le Debre Zeit Agricultural Research Center, qui dépend de l'Ethiopian Agricultural Research Organization (EARO), a choisi un échantillon de 320 entrées qui représente la diversité phénotypique du tef, pour faciliter les études génétiques et la sélection. En dehors de l'Ethiopie, des collections plus petites sont détenues au Brésil (Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (CPAC) de Planaltina ; 400 entrées), aux Etats-Unis (Western Regional Plant Introduction Station, USDA-ARS, Washington State University, à Pullman), en Allemagne (Federal Centre for Breeding Research on Cultivated Plants (BAZ), à Brunswick ; 30 entrées) et au Japon (National Institute of Crop Science de Tsukuba ; 30 entrées).

Sélection Depuis les années 1960, d'importants travaux d'amélioration ont eu lieu au Debre Zeit Agricultural Research Center, en Ethiopie. Les objectifs principaux ont été la

mise au point de cultivars à fort rendement destinés aux principales zones agro-écologiques de culture du tef et la résistance à la verse. La sélection classique n'a pas résolu le problème de la verse. Jusqu'à ce jour, 15 cultivars ont été obtenus par sélection directe au sein des variétés locales et recombinaison de caractères. Une technique de croisement a été mise au point en 1974 pour cette espèce et depuis, l'hybridation entre parents sélectionnés a permis la commercialisation de 5 cultivars. La plupart des paysans continuent à cultiver des variétés locales. Parmi les cultivars améliorés, les plus fréquemment cultivés sont 'Magna' (DZ–01–196), 'Enatite' (DZ–01–354), 'Dukem' (DZ–01–974), 'Tseday' (DZ–Cr–37) et 'Ziquala' (DZ–Cr–358). L'interaction génotype-milieu est forte chez le tef, surtout en raison des effets du milieu sur les dates de floraison et de maturité.
L'hybridation interspécifique avec des espèces sauvages d'*Eragrostis* a été tentée, mais elle n'a réussi qu'avec *Eragrostis pilosa* ; les caractères favorables transférés au tef étaient une taille réduite et la précocité. *Eragrostis curvula* pourrait donner une tige robuste et de grosses graines, mais ses hybrides avec le tef ne donnent pas de graines. On s'efforce actuellement de dresser une carte de liaison génétique pour le tef. On tente aussi de sélectionner des cultivars haploïdes doublés résultant de culture d'anthères ou de microspores. Les marqueurs ISSR ("inter simple sequence repeats") sont plus prometteurs que les autres marqueurs ADN pour quantifier la diversité génétique et identifier les génotypes du tef.

Perspectives En Ethiopie, l'expansion du tef à de nouvelles zones de production s'est poursuivie sans relâche, malgré le fait que les paysans soient incités à cultiver d'autres céréales connues au lieu du tef. Cette culture s'est propagée jusqu'aux basses terres, où le sorgho et le maïs ont souvent échoué en raison d'un fort stress hydrique. En dehors de l'Ethiopie, la culture du tef a débuté à une échelle limitée aux Etats-Unis et en Europe, où les cibles sont les populations immigrées éthiopiennes, et l'utilisation comme substitut du blé sans gluten. Il est raisonnable de penser que si des investissements sont faits en recherche et développement, le tef peut s'élever jusqu'au rang de culture spéciale dans les pays développés. La tendance à la verse est le plus grand défaut du tef ; le recours à des équipements et à des pratiques culturales appropriées peuvent constituer des solutions temporaires. A la longue, les approches biotechnologiques - passant par l'introduction de gènes nanifiants clonés provenant d'autres céréales - paraissent nécessaires pour arriver à avoir au champ des génotypes de tef qui ne versent pas. Il conviendrait aussi d'augmenter le ratio entre inflorescence et chaume, bien que la paille de tef ait son importance. On connaît encore mal l'influence des facteurs du milieu sur la qualité nutritionnelle du tef et les variations de sa qualité comme aliment du bétail.

Références principales Berhe, 1975; Deckers et al., 2001; Ebba, 1975; Ketema, 1997; Lovis, 2003; National Research Council, 1996; Phillips, 1995; Tefera, Belay & Sorrels (Editors), 2001; Tefera, Ayele & Assefa, 1995; van der Hoek & Jansen, 1996a.

Autres références Assefa, 2003; Assefa, Gaj & Maluszynski, 1998; Ayele et al., 1999; Bai et al., 2000; Bai et al., 1999; Bekele, Klöck & Zimmermann, 1995; Bultosa, Hall & Taylor, 2002; Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1999; FAO, 1970; Gibbs Russell et al., 1990; Ingram & Doyle, 2003; Kebebew, Gaj & Maluszynski, 1998; Kedir, Jones & Mengiste, 1993; Lazarides, 1997; Lemordant, 1971a; Lemordant, 1971b; Mamo & Parsons, 1987; Mekbib, Mantell & BuchananWollaston, 1997; Tefera, Assefa & Belay, 2003; Vecchio, Simoni & Casini, 1996 ; Yizengaw & Verheye, 1994.

Sources de l'illustration Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001.

Auteurs H. Tefera & G. Belay

FAGOPYRUM ESCULENTUM Moench

Protologue Methodus : 290 (1794).
Famille Polygonaceae.
Nombre de chromosomes $2n$ = 16, 32
Noms vernaculaires Sarrasin, blé noir (Fr). Buckwheat, beech wheat (En). Trigo sarraceno, fagópiro, trigo-mourisco (Po).

Origine et répartition géographique Originaire d'Asie centrale et septentrionale, le sarrasin a été domestiqué dans le sud-ouest de la Chine (dans les provinces du Yunnan et du Sichuan) à partir de types sauvages. Depuis plus de mille ans, le sarrasin a été une importante culture de subsistance et de rapport depuis le nord de l'Inde et le sud de la Chine jusqu'à la Corée et au Japon. Au début du Moyen-Age, il a été introduit en Europe où il est devenu l'une des principales plantes cultivées sur sols pauvres et un aliment de base important. C'est à des émigrants européens que l'on doit

l'introduction du sarrasin aux Etats-Unis et au Canada. Le recours accru aux engrais chimiques au début du XXe siècle a conduit à une baisse considérable de la superficie cultivée en sarrasin en Europe et en Amérique du Nord et à son remplacement par des espèces au rendement plus élevé, telles que le seigle, l'avoine, le maïs, le blé et la pomme de terre. Mais le sarrasin conserve toute son importance en Inde, en Chine, en Corée et au Japon, ainsi que dans l'est de l'Europe. Par contre, en Afrique tropicale (dans des pays comme la R.D. du Congo, l'Ethiopie, l'Ouganda, le Zimbabwe ou l'île de la Réunion) et en Afrique du Sud, sa culture reste sporadique ; on le trouve également à l'état d'adventice introduite.

Usages Le grain de sarrasin se prépare comme le riz, ou bien on en fait une farine qui sert à confectionner des nouilles, des crêpes, des bouillies, des gâteaux et des biscuits. C'est un ingrédient des céréales pour petit déjeuner. Les graines décortiquées sont appelées gruau ("groats"). Souvent, le grain de sarrasin est broyé ou moulu grossièrement, pour produire du gruau concassé. Nombreux sont les consommateurs qui apprécient cette farine à mouture grossière de couleur brunâtre, en raison de sa teneur élevée en particules de son. De nos jours, une teneur élevée en fibres est considérée comme une caractéristique favorable, et le sarrasin a pris de l'importance comme aliment diététique. Le sarrasin a un goût particulier, qui est recherché ou rejeté suivant les consommateurs. Lorsqu'on tamise pour obtenir une farine blanche de sarrasin, le taux d'extraction est relativement faible (60–70%), et les résidus vont à l'alimentation animale. S'il arrive que la farine pure de sarrasin soit utilisée pour faire du pain, il reste que l'absence de gluten empêche la pâte de lever. Mélangée avec de la farine de blé, d'orge ou de seigle, elle est appréciée car elle améliore le goût et la valeur nutritionnelle du pain et d'autres produits alimentaires. On peut ajouter jusqu'à 30% de farine de sarrasin dans une pâte à base de blé pour faire du pain. Dans l'Himalaya, le sarrasin sert à faire des boissons alcoolisées.

Le grain de sarrasin sert également à l'alimentation animale, en particulier celle des porcs et des volailles, et dans certaines régions comme l'Afrique australe, le sarrasin est considéré comme une plante fourragère plutôt qu'alimentaire. Il est parfois destiné à l'ensilage, mais il faut alors le mélanger à d'autres fourrages. Les pousses tendres constituent un légume-feuille vert savoureux. Les abeilles qui butinent les champs de sarrasin produisent un miel parfumé de couleur foncée. Les enveloppes du fruit servent de litière dans les poulaillers, ou de matériau de rembourrage pour les oreillers, de combustible ou de compost. Le sarrasin se cultive également comme engrais vert et comme plante de couverture, en Ouganda par exemple. Les feuilles fraîches et les inflorescences servent à l'extraction industrielle de rutine, qui s'applique pour fortifier la paroi interne des vaisseaux sanguins (mais c'est surtout une espèce voisine, *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn., qui fait l'objet de cultures spéciales pour la rutine). Cette substance fait aussi l'objet d'une exploitation industrielle comme pigment naturel, antioxydant, stabilisant, conservateur, et aussi pour ses capacités d'absorption des rayons ultraviolets. En Afrique de l'Est, on mastique les feuilles de sarrasin ou on en boit le jus pour faire tomber la fièvre.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale moyenne de sarrasin-grain en 1999–2003 avoisinait 2,7 millions de t/an sur 2,7 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Chine (1,4 million de t/an sur 980 000 ha), la Russie (600 000 t/an sur 930 000 ha) et l'Ukraine (320 000 t/an sur 440 000 ha). La commercialisation du sarrasin reste essentiellement locale. En effet, les exportations mondiales de sarrasin n'ont été en moyenne que de 160 000 t/an en 1998–2002, le principal exportateur étant la Chine (104 000 t/an). Pour l'Afrique tropicale, on ne dispose pas de statistiques sur les échanges ou la production. Dans les pays occidentaux, le sarrasin recommence à l'heure actuelle à jouir d'un certain prestige en raison de ses excellentes qualités nutritionnelles. Au Brésil, au Canada, aux Etats-Unis et en Afrique du Sud, le sarrasin est produit sur des exploitations fortement mécanisées et destiné à l'export.

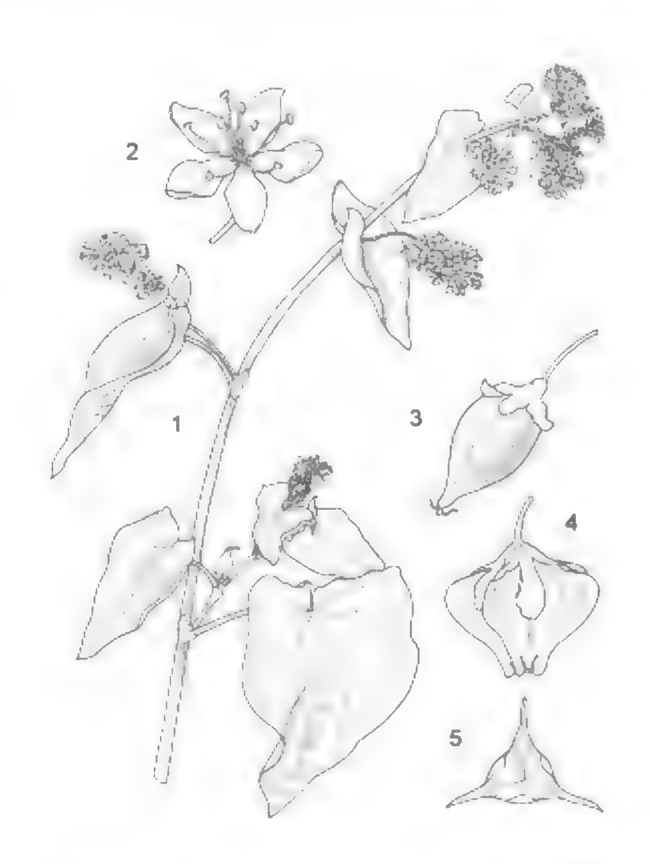
Propriétés La composition du grain de sarrasin, par 100 g de partie comestible, est : eau 9,8 g, énergie 1435 kJ (343 kcal), protéines 13,3 g, lipides 3,4 g, glucides 71,5 g, fibres alimentaires 10,0 g, Ca 18 mg, Mg 231 mg, P 347 mg, Fe 2,2 mg, Zn 2,4 mg, thiamine 0,10 mg, riboflavine 0,43 mg, niacine 7,0 mg, vitamine B_6 0,21 mg, folates 30 μg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 192 mg, lysine 672 mg, méthionine 172 mg, phénylalanine 520 mg, thréonine 506 mg, valine 678 mg, leucine 832 mg et isoleucine 498 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de

partie comestible, sont : acide oléique 988 mg, acide linoléique 961 mg et acide palmitique 450 mg (USDA, 2005). Les fruits entiers de sarrasin sont riches en fibres, fournies en grande partie par l'enveloppe. La farine stockée peut rancir en raison de sa teneur élevée en lipides. Le sarrasin se distingue des véritables céréales par la valeur biologique élevée de ses protéines, qu'elle doit à une forte teneur en acides aminés essentiels, la lysine surtout. En raison de l'absence de gluten, le sarrasin convient au régime des personnes atteintes de la maladie cœliaque. En revanche, le grain de sarrasin a la réputation d'être l'un des allergènes les plus importants. Il contient également des composés qui peuvent provoquer des irritations de la peau (connues sous le nom de "fagopyrisme"), surtout chez les moutons et les porcs, plus rarement chez les humains, lorsqu'ils en consomment en grande quantité et qu'ils s'exposent au soleil. On a aussi observé des cas de fagopyrisme chez les humains après consommation de miel de sarrasin. Cette maladie peut aussi affecter le bétail nourri avec de l'ensilage de sarrasin pur.

La rutine, un flavonoïde, est présente dans toutes les parties aériennes de la plante (feuilles, tiges, inflorescence, fruit). Elle a une activité antioxydante, anti-inflammatoire et anti-hypertensive ; elle renforce la paroi interne des vaisseaux sanguins, réduit le taux de cholestérol, protège les vaisseaux sanguins de la rupture et empêche la formation de caillots dans le sang.

Botanique Plante herbacée annuelle érigée atteignant 120 cm de haut, à tige creuse et anguleuse. Feuilles alternes, simples et entières ; stipules fusionnées en un ochréa tubulaire, court et tronqué ; pétiole des feuilles inférieures atteignant 10 cm de long, feuilles supérieures presque sessiles ; limbe triangulaire, hasté ou cordé, de 2–10 cm × 2–10 cm, aigu, 5–7-nervé à partir de la base. Inflorescence : glomérules de fleurs combinés en fausses grappes, axillaires ou terminales. Fleurs bisexuées, régulières, petites, rouge-rose à blanches, hétérostylées ; pédicelle mince ; tépales 5, de 3–4 mm de long, persistants ; étamines 8, alternant à la base avec 8 glandes à nectar ; ovaire supère, 1-loculaire, trigone, pourvu de 3 styles se terminant en stigmate capité. Fruit : nucule à 3 faces, de 5–7,5 mm × 3 mm, parfois ailée, gris-brun, brun foncé à presque noire, contenant 1 graine. Graine vert pâle virant au brun rougeâtre, légèrement plus petite que le fruit.

Le genre *Fagopyrum* comprend environ 15 espèces, dont la plupart sont originaires de l'Asie orientale. Le genre *Harpagocarpus*, ne comportant qu'une seule espèce, *Harpagocarpus snowdenii* Hutch. & Dandy, originaire d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Est, est très proche de *Fagopyrum* et devrait peut-être y être inclus. On connaît de nombreuses variétés locales et de cultivars de *Fagopyrum esculentum*, qui diffèrent par la forme de leur fruit, qui sont adaptés à une culture d'hiver ou d'été, et comprennent des types cultivés spécialement pour le grain, le fourrage, comme légume, ou comme plante médicinale.



Fagopyrum esculentum – 1, rameau en fleurs ; 2, fleur ; 3, fruit non ailé ; 4, fruit ailé ; 5, vue de dessus du fruit ailé.
Source: PROSEA

A une température du sol supérieure à 10°C, les graines germent rapidement, et les plantules lèvent en 7 jours. La croissance est rapide et la plante atteint sa hauteur totale, 60–100 cm, en 4–6 semaines. Les fleurs commencent à se former 20 jours après la levée, et l'anthèse débute une semaine plus tard pour se poursuivre jusqu'à la sénescence complète et la mort de la plante entière. Le sarrasin est auto-incompatible. La pollinisation croisée est effectuée par les insectes, surtout des abeilles et des mouches. Après le déclenchement de la floraison, les organes végétatifs (feuilles et tiges)

continuent à croître en même temps que les fruits se développent, ce qui rend la maturation des graines très inégale. A partir du milieu de la période de floraison et après, lorsque la superficie foliaire a atteint son maximum, la croissance des organes végétatifs ne se poursuit que lentement et la graine devient le réservoir principal des assimilats. Selon le cultivar et les conditions environnementales, le grain est prêt à la récolte 70–130 jours après la levée.

Ecologie Le sarrasin est une plante de régions tempérées et subtropicales, mais dans les tropiques on arrive à bien le faire pousser en altitude. En Ethiopie, il se cultive aux alentours de 1500 m d'altitude. Il n'existe pas beaucoup de données exactes sur les températures qui conviennent le mieux à la culture du sarrasin, mais les descriptions climatiques indiquent une fourchette de 18–30°C pour les températures diurnes, et 5–10°C plus basses pour les températures nocturnes. La masse foliaire met du temps à sécher, ce qui requiert un temps sec à la maturité et à la récolte. Le sarrasin est très sensible au gel. Des vents forts entraînent la verse de la plante en cours de croissance et un égrenage à maturité. Le sarrasin est relativement sensible à la sécheresse en raison de son système racinaire peu développé. Pendant la floraison, une sécheresse associée à des températures élevées entraîne une mauvaise nouaison. Des pluies abondantes pendant le cycle cultural stimulent la croissance végétative, mais inhibent la formation des grains, aussi parce qu'elles empêchent les insectes de polliniser la plante. Les cultivars de sarrasin sont indifférents à la longueur du jour ou bien de jours courts.
Le sarrasin donne de meilleurs résultats sur sols sableux légers, pauvres en azote, neutres à assez acides (pH 4,5–7). Il convient aux terres infertiles nouvellement défrichées, aux marais drainés, aux terres grossières ou aux sols acides à teneur élevée en matière organique en décomposition. Le sarrasin a la réputation d'avoir un rendement acceptable sur des terres marginales et infertiles. Sur sols mouillés ou riches en azote, il produit une végétation abondante qui conduit à la verse, à une faible fructification, à des pertes considérables à la récolte et ainsi à une diminution du rendement. Si on l'utilise pour l'ensilage ou comme engrais vert, un faible rendement en grain n'a pas grande importance, et plus les sols sont lourds et mouillés, plus la biomasse sera volumineuse.

Gestion Le sarrasin est multiplié par graines. Le poids de 1000 graines est de 12–35 g, la moyenne tournant autour de 22 g. Avant le semis, le lit de semis doit être finement émietté. Un sol ferme à environ 5 cm de profondeur réduit les dégâts causés par la sécheresse et la verse. Une terre très encroûtée et un sol argileux lourd donneront une mauvaise levée au champ. La plupart des agriculteurs utilisent les semences produites à la ferme. En agriculture mécanisée, on sème en lignes espacées d'environ 30 cm, à une profondeur de 2–4 cm, ce qui représente 40–60 kg de semences à l'ha. La plante compense un peuplement clairsemé en produisant davantage de ramifications. Des peuplements clairsemés produisent davantage d'inflorescences et de grain par plante. En agriculture manuelle, le semis se fait à la volée, suivi d'un hersage afin de recouvrir les semences de terre. Avec cette méthode, il faut 10–20 kg de graines de plus à l'ha qu'avec une plantation en lignes. Le sarrasin est une plante à cycle de croissance court, ce qui permet de l'insérer facilement dans des systèmes de culture associant des céréales, des plantes sarclées, des légumes secs et des fourrages. Il se cultive parfois en association avec des légumes. Il concurrence bien la plupart des mauvaises herbes, mais certaines poussent si vite qu'elles peuvent poser problème. A cet effet, certains cultivateurs augmentent la densité de semis, puis ils effectuent un désherbage mécanique par hersage environ 4 semaines après la levée, ce qui élimine la plupart des mauvaises herbes en même temps qu'un certain nombre de plantules de sarrasin.
L'absorption de minéraux, pour un rendement de 2 t/ha de grain, est d'environ 45 kg de N, 10 kg de P et 50 kg de K. D'ordinaire, les agriculteurs n'appliquent pas de fumure organique et aucun ou peu d'engrais chimique, et s'ils le font c'est à raison de 10–30 kg de N, 0–15 kg de P et 15–30 kg de K. S'il existe un risque de verse, il ne faut appliquer que des engrais à base de P et de K. Dans des rotations avec le sarrasin, n'importe quelle culture peut le précéder, à condition qu'elle ne laisse pas trop d'azote ou ne donne pas lieu à une invasion de mauvaises herbes.
Si on a signalé l'existence de nombreuses maladies fongiques affectant le sarrasin, il est rare qu'elles provoquent des dégâts importants. Le mildiou (*Peronospora* sp.), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*) et le rhizoctone (*Rhizoctonia* sp.) sont les principales maladies. Les cultivars présentent de nettes différences de sensibilité. On a également signalé plusieurs maladies

virales, mais leurs dégâts ne sont pas importants. La culture est rarement attaquée par les insectes, mais les sauterelles, les bruches du haricot, les vers gris, les pucerons, les alucites des céréales et des coléoptères des greniers peuvent se nourrir du sarrasin. En fait, les pires ennemis dans la production de sarrasin sont les oiseaux, qui causent des dégâts au moment de la maturité et après la moisson, quand on laisse la récolte sécher au champ. Il arrive que les rats soient également destructeurs.

Lorsque la quasi totalité du grain est mûr (au moins 75%) et que la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées, on moissonne par fauchage, puis on lie les tiges en javelles que l'on entasse pour les faire sécher. Les paysans préfèrent récolter en début de matinée, tard dans l'après-midi, ou même la nuit, lorsque les pieds sont légèrement couverts de rosée, pour limiter l'égrenage. Pour limiter les dégâts provoqués par les oiseaux, on empile les javelles en les disposant tête-bêche. Si les feuilles ne sont pas assez sèches, elles risquent d'adhérer les unes aux autres, ce qui pose problème au moment du battage. Dans les pays industrialisés, la moisson se fait à la moissonneuse-batteuse.

Les rendements en grains varient de 0,6–2,5 t/ha, mais il arrive qu'on obtienne 3 t/ha. Les chercheurs n'ont pas réussi à augmenter les rendements du sarrasin, qui n'ont pratiquement pas bougé depuis un siècle.

Un séchage complet à moins de 16% d'humidité facilite l'élimination des fragments de paille et des grains immatures. Les petits paysans font généralement le battage à la main. Le battage mécanisé exige d'ajuster très précisément le cylindre de battage pour éviter d'endommager le grain. Les opérations de transformation commencent avec le décorticage et la séparation des enveloppes du gruau, puis la mouture. Autrefois, ce travail était effectué par des familles ou dans de petits ateliers de village. Mais de nos jours, le sarrasin est surtout transformé dans des usines qui emploient des technologies alimentaires poussées pour fabriquer des produits bien précis.

Ressources génétiques et sélection Les collections les plus importantes de ressources génétiques de sarrasin sont détenues en Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg, 2010 entrées), en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), à Pékin, 1495 entrées) et au Canada (Station de recherches d'Agriculture Canada, Morden, Manitoba, 570 entrées). On trouve également des ressources génétiques dans les collections nationales des Etats-Unis, d'Afrique du Sud, du Japon, de Corée, d'Inde, du Pakistan, du Népal, de Slovénie, de Pologne et d'Allemagne. Tous ces pays font partie d'un réseau qui dépend de l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI), chargé de la caractérisation du sarrasin et de sa documentation. Il existe de nombreuses variétés locales et beaucoup ont déjà été prospectées pour leur sélection, leur évaluation et leur conservation en banques de gènes. Le sarrasin n'est pas menacé d'érosion génétique.

La sélection du sarrasin a été entreprise par des pays comme les Etats-Unis, la Russie, le Japon, l'Inde et l'ancienne Yougoslavie. Des lignées diploïdes homogènes, fortement autocompatibles, ont été isolées. Elles ont révélé une forte dépression consanguine, et de l'hétérosis chez les générations F_1. Les obtenteurs ont sélectionné des cultivars améliorés plus productifs, en améliorant par exemple le port de la plante (tiges plus courtes et moins sensibles à la verse). Les sélections de sarrasin autotétraploïde présentent des caractéristiques supérieures sur de nombreux aspects (autofertilité, teneur plus élevée en rutine, production de matière sèche plus importante, meilleure absorption d'azote, absence d'égrenage). A travers des programmes d'amélioration génétique avec de proches parents du sarrasin tels que *Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn. (sarrasin de Tartarie) et *Fagopyrum homotropicum* Ohnishi, on espère également augmenter la teneur en rutine et accroître l'autocompatibilité. L'embryogenèse somatique du sarrasin est possible, en utilisant comme explants des embryons immatures, des protoplastes, des cotylédons, des hypocotyles, ou des morceaux de feuille ou de tige.

Perspectives L'intérêt pour le sarrasin comme aliment diététique augmente au niveau intenational. Etant donné son prix élevé, qui compense la faiblesse des rendements comparé aux céréales, il se peut que la superficie cultivée en sarrasin augmente. Il pourrait présenter un intérêt pour une culture sur les zones marginales des hautes terres d'Afrique, en particulier comme culture extensive de subsistance ou de rapport, en rotation avec d'autres espèces. Une particularité intéressante est que pour le moment, le sarrasin n'est presque pas affecté par les maladies et les ravageurs. Les principaux inconvénients de cette culture sont la verse, l'égrenage et la faiblesse du rendement. Etant donné la variabilité génétique existante, il est probable que la sélection va

donner lieu à la création de cultivars mieux adaptés aux conditions tropicales, moins susceptibles à la verse et à l'égrenage et dotés d'une meilleure fructification, donc offrant de meilleurs niveaux de rendement.

Références principales Biacs et al., 2002; Campbell, 1997a; Grubben & Siemonsma, 1996; Ohnishi, 1998; Zeller & Hsam, 2004.

Autres références Edwardson, 1996; Gumerova et al., 2003; Hedberg, 2000; Joshi & Rana, 1995; Kim et al., 2005; Kokwaro, 1993; Ohnishi & Asano, 1999; Sohn, Lee & Kim, 2003; USDA, 2005; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Sources de l'illustration Grubben & Siemonsma, 1996.

Auteurs P.C.M. Jansen

Basé sur PROSEA 10: Cereals.

GLYCINE MAX (L.) Merr.

Protologue Interpr. Herb. amboin. 274 (1917).

Famille Papilionaceae (Leguminosae – Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 40$

Synonymes *Glycine hispida* (Moench) Maxim. (1873).

Noms vernaculaires Soja, soya (Fr). Soya bean, soybean (En). Soja (Po). Soya (Sw).

Origine et répartition géographique Le soja a été domestiqué dans le nord-est de la Chine aux alentours du XIe siècle avant J.-C. A partir de là, il s'est répandu jusqu'à la Mandchourie, la Corée, le Japon ainsi que dans d'autres parties de l'Asie. Il a été introduit en Corée entre l'an 30 avant J.-C. et l'an 70 après J.-C., et il est mentionné dans la littérature japonaise aux alentours de 712 après J.-C. Il a atteint l'Europe avant 1737. Il a été introduit aux Etats-Unis en 1765 et au Brésil en 1882. Par contre, la date de sa première introduction en Afrique tropicale reste obscure. Sa culture a été signalée en Tanzanie en 1907 ainsi qu'au Malawi en 1909, mais tout porte à croire qu'il a été introduit au cours du XIXe siècle par des marchands chinois fort actifs le long de la côte d'Afrique orientale. De nos jours, le soja est largement cultivé dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées du monde entier. La lenteur de sa diffusion en dehors d'Asie s'explique par l'absence dans les sols de ces régions des rhizobiums spécifiques du soja, et la culture ne s'est développée aux Etats-Unis qu'au début du XXe siècle, après la découverte du processus de nodulation par les scientifiques.



Glycine max – planté

Usages En Afrique tropicale, les graines sèches de soja sont bouillies et utilisées en condiment, ou servent à préparer des succédanés de lait ou de la farine. Au Nigeria, un usage courant du lait de soja consiste à le transformer en un produit proche du tofu, à le faire frire et à le vendre comme en-cas ou ingrédient de petit déjeuner. La farine de soja entre dans la fabrication du pain ou bien, mélangée à la farine de maïs, elle sert à fortifier une bouillie ("ugali", "sadza"). En Afrique de l'Ouest, la farine de soja sert à épaissir la soupe et à remplacer la farine traditionnelle à base de graines de pastèque égousi (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai). On appelle "okara" la pulpe et les enveloppes qui restent une fois le lait extrait ; ce tourteau a pratiquement tous les mêmes usages que la farine de soja. Les graines de soja sont grillées et employées directement comme en-cas ou comme succédané du café. On moud aussi les graines pour en faire une farine qui est mélangée avec la farine de maïs, servant ainsi de nourriture d'appoint en cas de famine. En Asie, le soja sert à la préparation d'une grande variété de produits alimentaires frais, fermentés ou séchés comme le lait, le tofu, le tempeh, le miso, le yuba, la sauce de soja et les germes de soja (il s'agit ici du vrai soja, et non des germes de mungo, plus courants en Occident et appelés "germes de soja" en français). Les graines de soja immatures sont consommées comme légume.

On transforme les graines de soja pour en extraire une huile alimentaire, qui a aussi de nombreux usages industriels ; l'espèce est actuellement la source la plus importante d'huile végétale dans le monde. L'huile se trouve sur le

marché sous forme d'huile de cuisson et de salade, de margarine et de matière grasse. Les lécithines de soja servent d'émulsifiants dans l'industrie alimentaire, en pharmacie, et dans la production industrielle de matériel de décoration, d'encres d'imprimerie et de pesticides. L'huile de soja est la principale source commerciale d'α-tocophérol (vitamine E naturelle) et contient du stigmastérol, qui est utilisé pour la synthèse commerciale d'hormones stéroïdiennes et autres produits pharmaceutiques. Le tourteau qui subsiste après l'extraction de l'huile est riche en protéines et constitue un important aliment du bétail. Parmi les utilisations des protéines de soja dans l'alimentation, on trouve les farines et gruaux dégraissés, les concentrés, les isolats, les farines et les concentrés texturés (couramment utilisés comme substitut de viande). Les protéines servent également dans la production de fibres synthétiques, de colles et de mousses.

Le soja est aussi cultivé comme plante fourragère et comme engrais vert ; il convient à la fenaison ainsi qu'à l'ensilage. Les tiges feuillées subsistant après la récolte des gousses peuvent également servir de fourrage.

Production et commerce international

D'après les évaluations de la FAO, la production moyenne mondiale de graines de soja est de 173 millions de t/an pour une superficie de 77 millions d'ha (moyenne de 1999–2003). Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis (avec 73,5 millions de t/an entre 1999–2003, sur 29,4 millions d'ha), le Brésil (avec 39,0 millions de t/an sur 15,1 millions d'ha), l'Argentine (avec 26,4 millions de t/an sur 10.2 millions d'ha), la Chine (avec 15,4 millions de t/an sur 9,0 millions d'ha), l'Inde (avec 5,9 millions de t/an sur 6,3 millions d'ha), le Paraguay (avec 3,4 millions de t/an sur 1,3 million d'ha) et le Canada (avec 2,3 millions de t/an sur 1,0 million d'ha). L'Afrique du Sud a produit 188 000 t/an sur 121 000 ha. La production de soja en Afrique tropicale entre 1999–2003 a été de 790 000 t/an sur 895 000 ha, les principaux producteurs étant le Nigeria (avec 439 000 t/an sur 601 000 ha), l'Ouganda (avec 139 000 t/an sur 124 000 ha) et le Zimbabwe (avec 119 000 t/an sur 62 000 ha).

La moyenne des exportations mondiales de graines de soja s'est élevée à 47,4 millions de t/an entre 1998–2002, les Etats-Unis arrivant en tête (avec 25,4 millions de t/an), suivis par le Brésil (avec 12,3 millions de t/an) et l'Argentine (avec 4,7 millions de t/an). Les exportations de soja à partir de l'Afrique tropicale n'ont été que de 27 000 t/an, avec le Zimbabwe pour principal exportateur (avec 11 000 t/an). Le plus gros importateur a été la Chine (avec 11,0 millions de t/an). Les importations de soja en Afrique tropicale se sont élevées à 37 000 t/an. La moyenne des exportations mondiales d'huile de soja entre 1998–2002 a été de 8,2 millions de t/an, les principaux exportateurs étant l'Argentine (avec 3,0 millions de t/an), le Brésil (avec 1,5 million de t/an) et les Etats-Unis (avec 0,9 million de t/an). Quant à l'Afrique tropicale, ses exportations d'huile de soja ont été négligeables. Les principaux importateurs entre 1998–2002 ont été la Chine (avec 975 000 t/an), l'Inde (837 000 t/an), l'Iran (701 000 t/an) et le Bangladesh (522 000 t/an). Les importations d'huile de soja en Afrique tropicale entre 1998–2002 ont atteint 338 000 t/an, les principaux pays importateurs étant le Sénégal (avec 83 000 t/an), l'Angola (39 000 t/an), l'île Maurice (25 000 t/an), Madagascar (22 000 t/an) et le Zimbabwe (22 000 t/an). La moyenne des exportations de tourteaux de soja a atteint 40,8 millions de t/an, l'Argentine (avec 13,6 millions de t/an), le Brésil (10,8 millions de t/an) et les Etats-Unis (6,4 millions de t/an) arrivant largement en tête. Les exportations de tourteaux de soja d'Afrique tropicale ont représenté 30 000 t/an, essentiellement en provenance du Zimbabwe (avec 14 000 t/an) et de la Zambie (12 000 t/an). Les plus gros importateurs ont été les pays de l'Union européenne. L'Afrique tropicale a, quant à elle, importé 72 000 t/an.

Le soja est cultivé par de petits paysans dans de nombreux pays d'Afrique de l'Ouest et de l'Est et d'Afrique australe, mais c'est en général une plante alimentaire secondaire. La production commerciale de soja sur des fermes et des domaines de grande taille est courante en Zambie et au Zimbabwe, de même qu'en Afrique du Sud.

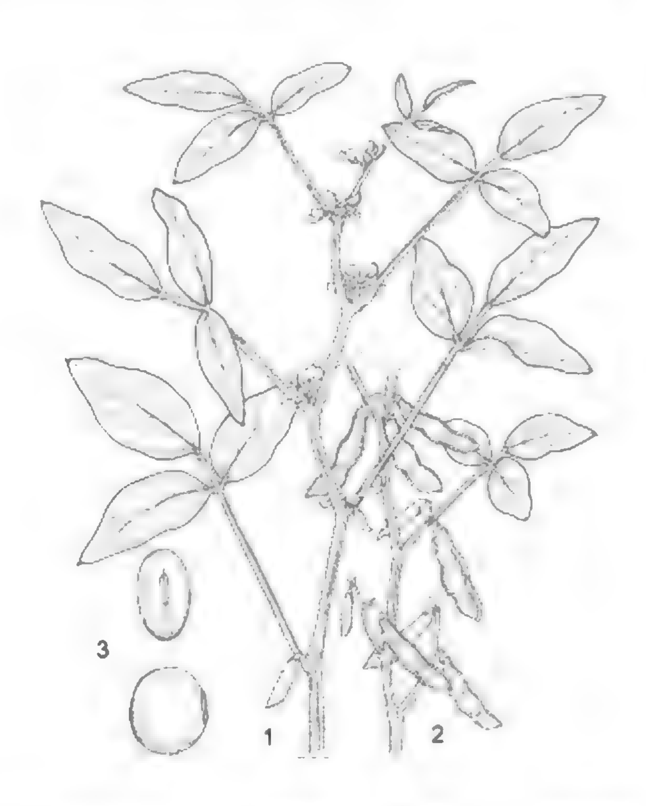
Propriétés La composition de graines de soja mûres et crues par 100 g de partie comestible est la suivante : eau 8,5 g, énergie 1742 kJ (416 kcal), protéines 36,5 g, lipides 19,9 g, glucides 30,2 g, fibres alimentaires 9,3 g, Ca 277 mg, Mg 280 mg, P 704 mg, Fe 15,7 mg, Zn 4,9 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,87 mg, riboflavine 0,87 mg, niacine 1,6 mg, vitamine B_6 0,38 mg, folates 375 µg et acide ascorbique 6,0 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est la suivante : tryptophane 530 mg, lysine 2429 mg, méthionine 492 mg, phénylalanine 1905 mg, thréonine 1585 mg, valine 1821 mg, leucine 2972 mg

et isoleucine 1770 mg. Les principaux acides gras par 100 g de partie comestible sont : acide linoléique 9925 mg, acide oléique 4348 mg, acide palmitique 2116 mg, acide linolénique 1330 mg et acide stéarique 712 mg (USDA, 2004). La teneur en protéines des graines de soja est supérieure à celle de tout autre légume sec. Les graines ont une teneur en lysine élevée ; l'acide aminé limitant est la méthionine. Les graines mûres de soja sont difficiles à digérer, elles contiennent des composés toxiques et ont un goût désagréable. C'est la raison pour laquelle on doit les faire tremper dans l'eau et les cuire longuement avant qu'elles ne soient comestibles, ou bien leur appliquer des techniques de transformation, comme le grillage, la fermentation ou la germination. Les facteurs antinutritionnels thermolabiles des graines de soja sont les inhibiteurs de la trypsine, les hémagglutinines, les goitrigènes, les antivitamines et les phytates, les facteurs thermostables étant les saponines, les œstrogènes, les facteurs de météorisme et la lysinoalanine.

Le rendement en farine de graines de soja est de 80% et celui de l'huile de 18%. La farine contient environ 50% de protéines. La composition moyenne en acides gras de l'huile de soja du commerce est la suivante : acide linoléique 54%, acide oléique 22%, acide palmitique 10%, acide linolénique 10% et acide stéarique 4%. L'huile de soja est riche en vitamine E et contient 1,1–3,2% de lécithines. Les graines de soja sont toujours traitées thermiquement avant l'extraction de l'huile, à cause de la présence de composés antinutritionnels. L'huile a tendance à rancir au contact de l'air et de la lumière, en raison de l'instabilité de l'acide linolénique. Les concentrations en protéines et en huile sont corrélées de manière négative, et les efforts visant à relever l'une et l'autre simultanément ont échoué. En effet, la teneur en huile tend à augmenter avec la température durant la croissance, la teneur en protéines tendant pour sa part à baisser.

La consommation de soja est associée à la diminution du risque d'athérosclérose et de maladies cardiovasculaires, bien que les mécanismes exacts ne soient pas clairs. Il semblerait aussi que le soja ait un effet positif sur la santé osseuse. La corrélation entre la consommation de soja et la réduction du risque de cancer est plus incertaine.

Description Plante herbacée annuelle normalement érigée, buissonnante, jusqu'à 2 m de haut, parfois volubile ; racine pivotante ramifiée, jusqu'à 2 m de long, racines latérales



Glycine max – 1, rameau en fleurs ; 2, rameau en fruits ; 3, graines.
Source: PROSEA

s'étalant horizontalement sur une distance allant jusqu'à 2,5 m dans les 20 premiers cm du sol ; tige pubescente brunâtre ou grisâtre. Feuilles alternes, 3(–7)-foliolées ; stipules largement ovales, de 3–7 mm de long ; pétiole de 2–20 cm de long, en particulier aux feuilles inférieures ; folioles ovales à lancéolées, de 3–15 cm × 2–6(–10) cm, cunéiformes ou arrondies à la base, aiguës à obtuses à l'apex, entières, glabres à pubescentes. Inflorescence : fausse grappe axillaire jusqu'à 3,5 cm de long, souvent compacte, densément poilue, à (2–)5–8(–35) fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle jusqu'à 3 mm de long ; calice en tube, avec 2 lobes supérieurs et 3 lobes inférieurs, poilu ; corolle de 5–7 mm de long, blanche, rose, violette ou bleuâtre, étendard obovale à arrondi, d'environ 5 mm de long, glabre, ailes obovales, carène plus courte que les ailes ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, style courbé avec un stigmate capité. Fruit : gousse légèrement recourbée et généralement comprimée de 2,5–8(–15) cm × 1–1,5 cm, poilue, déhiscente, à (1–)2–3(–5) graines. Graines globuleuses à ovoïdes ou rhomboïdes, de 6–11 mm × 5–8 mm, jaunes, vertes, marron ou noires, ou tachetées et mouchetées dans ces différentes couleurs ; hile petit, noir, marron ou jaune. Plantule à germination épigée ; cotylédons épais et char-

nus, jaunes ou verts ; premières feuilles simples et opposées.

Autres données botaniques Le genre *Glycine* comprend environ 20 espèces réparties dans les régions tropicales et subtropicales d'Asie et d'Australie. Il est divisé en 2 sous-genres : *Glycine* (espèces vicaces) et *Soja* (espèces annuelles), ce dernier incluant 2 espèces : *Glycine soja* Sieb. & Zucc. (types sauvages que l'on trouve en Asie orientale) et *Glycine max* (types cultivés). *Glycine soja* est considéré comme l'ancêtre sauvage de *Glycine max*. Les 2 taxons s'hybrident facilement et peuvent également être considérés comme formant une seule espèce avec 2 sous-espèces, *Glycine max* (L.) Merr. subsp. *max* et subsp. *soja* (Sieb. & Zucc.) Ohashi.
De nombreux cultivars sont reconnus en Asie tropicale qui varient dans la longueur du cycle, dans la taille, le port de la plante, la couleur, le teneur en lipides et en protéines des graines, et l'usage que l'on en fait. Pour la production de l'huile, on préfère les graines jaunes. En ce qui concerne les graines immatures qui seront consommées comme légume, les types à grosses graines jaunes ou vertes ont la préférence. Les cultivars fourragers (pour le foin ou le fourrage frais) ont généralement des graines marron ou noires et les plantes sont souvent volubiles. En Afrique tropicale, les cultivars les plus anciens originaires d'Asie ont tendance à être de haute taille et à avoir une croissance indéterminée, un cycle relativement long (environ 120 jours) et une aptitude "généraliste" à noduler avec des rhizobiums indigènes des sols africains. On peut opposer ces cultivars à ceux qui ont émergé des programmes de sélection et qui sont plutôt petits, déterminés, et à cycle relativement court (70–90 jours).

Croissance et développement Les plantules de soja lèvent en 5–15 jours après le semis ; pour le lit de semis, une température de 25–33°C est optimale. La floraison débute entre 25 et plus de 150 jours après le semis, en fonction de la longueur du jour, de la température et du cultivar. Elle peut prendre 1–15 jours. Le soja est normalement autogame et complètement autocompatible avec une allogamie inférieure à 1%. Le pollen est émis en général le matin, avant que les fleurs ne soient complètement épanouies. A des altitudes élevées et avec des températures basses, les fleurs sont normalement cléistogames. Le laps de temps compris entre la floraison et la maturité des gousses est de 30–50 jours. Le cycle total de culture allant du semis à la maturité est de 65–200 jours. Le cycle est généralement plus court en jours courts qu'en jours longs. Le nombre de gousses par plante varie de quelques-unes à plus de 1000.
Bien que selon la littérature ancienne le soja nodule exclusivement avec des rhizobiums à croissance lente (*Bradyrhizobium* spp. ; à l'origine dénommé "rhizobium de type niébé"), il est désormais bien établi que l'espèce à croissance rapide *Sinorhizobium fredii* peut elle aussi former des nodules efficaces avec la plante. Les génotypes de soja diffèrent considérablement dans leur aptitude à noduler avec des rhizobiums indigènes dans les sols. L'aptitude à la nodulation spontanée et prolifique avec des rhizobiums indigènes est connue comme le caractère "généraliste", par opposition au caractère "spécifique" des types de soja qui nécessitent d'habitude une inoculation avec un type spécifique ou avec quelques types spécifiques de rhizobiums pour bien se développer. Néanmoins, il est désormais établi que tous les génotypes de soja nodulent dans une certaine mesure avec des rhizobiums indigènes, mais la diversité des souches avec lesquelles ils peuvent le faire détermine leur degré de généralisme. Les taux de fixation de N_2 chez le soja sont surtout élevés chez les génotypes les plus luxuriants et les plus tardifs. Des études menées au Nigeria ont relevé un taux de fixation de 126 kg de N par ha sur une lignée de soja non inoculée et tardive.

Ecologie Le soja est cultivé de l'équateur jusqu'à des latitudes de 55°N ou 55°S, du niveau de la mer jusqu'à 2000 m d'altitude. Même si la plante vient bien sous des températures très variées, la température optimale pour sa croissance et son développement se situe en général autour de 30°C. Tant des températures excessivement élevées (>32°C) que basses (<20°C) peuvent réduire l'initiation florale et la formation des gousses. Le soja a besoin d'au moins 500 mm d'eau durant la période de croissance pour une bonne récolte ; la consommation d'eau dans des conditions optimales est de 850 mm. Un stress de sécheresse pendant la floraison limite la formation des gousses, mais la sécheresse durant la formation des graines réduit encore plus le rendement. Le soja peut tolérer un bref engorgement du sol, mais l'altération des graines est un grave problème en cas d'humidité. Il est considéré comme une plante de jours courts à réaction quantitative, mais certains cultivars ne sont pas sensibles à la photopériode. La réaction à la photopériode interagit fortement avec

la température, et compte tenu de la variation relativement faible de la longueur du jour sous les tropiques, ce sont les températures qui sont déterminantes pour influer sur le taux de développement phénologique. La sensibilité à la photopériode signifie que des types introduits directement d'Amérique du Nord en Afrique tropicale vont souvent fleurir et monter à graines avant d'avoir achevé leur pleine croissance, ce qui limite leur rendement.
Le soja pousse bien sur des sols humides, excepté sur du sable très grossier. Le pH optimum est de 5,5–7,5, et le soja est sensible à l'acidité du sol, en particulier à la toxicité de l'aluminium. Aux endroits où le soja n'a pas été cultivé auparavant, ou lorsque P est limité, la fixation de N_2 symbiotique peut s'avérer insuffisante pour faire face aux besoins en N des plantes.

Multiplication et plantation Le soja se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 100–250 g. Les graines peuvent être semées avant le début de la saison des pluies, ou lorsque le sol est humide. La densité de semis est de 40–120 kg/ha. Le soja est semé en lignes espacées de (20–)40(–75) cm. Sur la ligne, 2–3 graines sont semées en trous espacés de 7,5–10 cm, à une profondeur de 2–5 cm. En culture associée, la densité de semis est inférieure à celle de la culture pure. En agriculture traditionnelle, la terre est préparée à la main ou par traction animale avant le semis. Le soja est cultivé essentiellement sur terrain plat, mais on peut le semer sur des buttes ou des billons lorsque le sol est lourd, la nappe phréatique haute, ou les précipitations nombreuses. En Afrique tropicale, les petits paysans cultivent le soja en culture pure ou en association avec du maïs, du sorgho ou du manioc.

Gestion Le soja est généralement désherbé 1–3 fois durant les 6–8 premières semaines après le semis, après quoi sa canopée devrait être suffisamment développée pour supprimer les mauvaises herbes. Il est exceptionnel d'irriguer, sauf pour la production en saison sèche. Un apport de fond d'engrais avec 20–25 kg P par ha est souvent nécessaire pour une fixation symbiotique appropriée de N_2 et pour la croissance générale. Le soja est généralement cultivé en rotation avec des céréales, comme le maïs, le riz, le sorgho, le blé et l'éleusine, qui reçoivent souvent tous les apports d'engrais.

Maladies et ravageurs Diverses maladies fongiques affectent le soja. La rouille du soja (*Phakopsora pachyrhizi* et *Phakopsora meibomiae*) est une maladie dévastatrice susceptible de réduire les rendements de plus de 90%. Elle est très répandue ; en Afrique tropicale, elle est signalée en Sierra Leone, au Ghana, au Nigeria, en R.D. du Congo, en Ouganda, en Tanzanie et en Zambie. Une résistance partielle a été observée chez plusieurs cultivars ; les fongicides peuvent limiter les dégâts. La maladie des taches foliaires rouges (*Dactuliochaeta glycines*, synonyme : *Pyrenochaeta glycines*) est confinée à l'Afrique ; elle est économiquement importante en Zambie et au Zimbabwe, où des baisses de rendements allant jusqu'à 50% ont été signalées. Les graines ne sont pas infectées, mais le champignon peut survivre dans le sol pendant plusieurs années. Des cultivars tolérants ont été mis au point au Zimbabwe. On rencontre la maladie des taches ocellées (*Cercospora sojina*, synonyme : *Passalora sojina*) dans le monde entier. Il s'agit principalement d'une maladie foliaire, mais elle peut aussi affecter les tiges, les gousses et les graines. Elle survit sur les graines stockées ainsi que sur les débris végétaux et se propage grâce au vent. Les mesures de lutte comprennent le traitement des graines (par ex. avec du thirame), un labour en profondeur des débris végétaux, la rotation des cultures et l'application de fongicides. On dispose de cultivars résistants. Les graines pourpres et la brûlure de la feuille sont dues à *Cercospora kikuchii*, que l'on trouve aussi dans le monde entier. Pour lutter contre ces maladies, on préconise la rotation des cultures, l'emploi de graines saines, l'enfouissement des débris végétaux, la pulvérisation de fongicides et l'utilisation de cultivars tolérants. Parmi les maladies bactériennes du soja, citons la graisse bactérienne (*Pseudomonas syringae* pv. *glycinea*, synonyme : *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea*) qui est courante où que le soja soit cultivé. Au nombre des mesures permettant de lutter contre cette maladie foliaire, on peut citer l'emploi de cultivars résistants, de graines saines, la rotation des cultures et l'enfouissement des débris végétaux. La pustule bactérienne (*Xanthomonas campestris* pv. *glycines*, synonyme : *Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*) est également répandue. Elle est transmise par les graines et survit sur les débris végétaux. Les mesures de lutte sont similaires à celles employées contre la graisse bactérienne. Les maladies virales du soja comprennent le virus de la mosaïque du soja (SMV), le virus de la marbrure faible du niébé (CPMMV) et le virus de la mosaïque jaune du haricot (BYMV), mais ces virus ne sont pas très

importants en Afrique tropicale.

Le nématode à kystes du soja (*Heterodera glycines*) ainsi que les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.) peuvent causer de sérieux dégâts, en particulier dans les sols sableux. C'est pourquoi le soja ne doit pas être cultivé de manière continue ou en rotation avec d'autres espèces sensibles, comme le tabac. Des cultivars de soja résistants aux nématodes sont disponibles.

Le ravageur du soja le plus répandu et probablement le plus dangereux en Afrique tropicale est la punaise verte du soja (*Nezara viridula*), dont les nymphes et les adultes se nourrissent de graines. L'emploi d'insecticides permet de les juguler. Le pire ravageur phyllophage est probablement la chenille arpenteuse du soja (*Xanthodes graellsii*). Les mouches mineuses (essentiellement *Melanagromyza sojae* et *Ophiomyia centrosematis*) peuvent entraîner une perte totale des rendements. Les semis de soja sont quelquefois endommagés par les vers gris (*Agrotis* spp.). Aucun ravageur des greniers d'importance n'est signalé en Afrique, excepté les rongeurs.

Récolte Les graines mûres de cultivars de soja précoces peuvent être récoltées 65 jours après le semis ; les cultivars tardifs peuvent demander plus de 150 jours. En Afrique tropicale, on laisse en général sécher les plantes sur le champ et les plantes entières (sans les racines) sont ramassées à la main lorsque la plupart des feuilles ont jauni et sont tombées, et que les gousses sont devenues marron. La teneur en eau des graines à la récolte doit être de 14–15%. Les gousses des anciens cultivars ayant tendance à s'égrener au champ en séchant, les plantes ont besoin d'être récoltées à temps pour éviter une trop grande perte de rendement. La récolte par moissonneuse-batteuse est pratiquée sur les fermes et domaines de grande taille. En tant que légume, les graines de soja sont récoltées lorsque les gousses sont encore vertes mais bien remplies de graines.

Rendements La moyenne des rendements en soja au niveau mondial est de 2,25 t/ha ; pour les Etats-Unis, elle est de 2,5 t/ha. Sur de petites exploitations en Afrique tropicale, les rendements atteignent souvent à peine 0,5 t/ha en raison à la fois de mauvaises conditions du sol et d'une mauvaise conduite. Cependant, des rendements supérieurs à 2 t/ha ont été enregistrés sur de petites exploitations au Zimbabwe et au Nigeria, notamment lorsque les paysans cultivent le soja comme une culture de rente qu'ils vendent sur les marchés alimentaires des villes ou à l'industrie pour l'huile et les aliments du bétail. Le rendement moyen des gros exploitants commerciaux tourne autour de 2 t/ha. Dans des conditions optimales de culture, des rendements supérieurs à 4,5 t/ha ont été enregistrés au Zimbabwe. Au Nigeria et dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest, le potentiel de rendements du soja est d'environ 3 t/ha.

Traitement après récolte Les plantes entières sont séchées au soleil. Elles sont ensuite battues au bâton. Les graines sont vannées, nettoyées et préparées pour être stockées ou expédiées au marché. Pour un stockage sur l'exploitation, une teneur en eau de 10–12% doit être maintenue. L'altération des graines au cours du stockage est un problème prépondérant sous les tropiques humides et est imputable aux mauvaises conditions de stockage de même qu'aux ravageurs. Dans la région des savanes d'Afrique de l'Ouest, des producteurs ont mis au point des méthodes appropriées de manutention des graines de semence, qui permettent d'assurer une bonne germination lorsqu'ils réutilisent leurs propres semences.

Ressources génétiques Les collections les plus importantes de ressources génétiques de soja sont détenues en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), Beijing, 23 600 entrées ; Nanjing Agricultural University, Nanjing, 13 000 entrées), aux Etats-Unis (USDA-ARS Soybean Germplasm Collection, Urbana, Illinois, 18 400 entrées) et à Taiwan (Centre de recherche et de développement sur les légumes en Asie (AVRDC), Shanhua, 12 500 entrées). En Afrique tropicale, d'importantes collections de ressources génétiques sont détenues au Zimbabwe (Crop Breeding Institute, Harare, 2250 entrées), au Nigeria (Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, 1800 entrées), au Rwanda (Institut des sciences agronomiques du Rwanda (ISAR), Butare, 550 entrées) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu, 130 entrées).

Le matériel génétique en collection a été utilisé avec succès pour l'amélioration de la résistance aux maladies et ravageurs, de la morphologie de la plante et de la composition des graines. La diversité génétique des cultivars de soja est relativement restreinte. Par exemple, on peut faire remonter l'origine d'environ 80% du pool génétique des cultivars de soja cultivés aux Etats-Unis à seulement 7–10 introductions provenant de la même zone géographique. Il s'avère donc nécessaire d'élargir la base génétique du soja cultivé en utilisant les espèces

apparentées sauvages.

Sélection Le travail de sélection du soja en Afrique tropicale a pour but la mise au point de cultivars améliorés ayant un rendement en graines élevé et stable, une résistance aux principales maladies et ravageurs, une tolérance à la toxicité de l'aluminium, une résistance à la verse et à l'égrenage spontané des gousses, une nodulation généraliste, des graines à longévité améliorée, de couleur acceptable, et possédant une bonne teneur en huile et en protéines. Un programme d'amélioration mené à l'IITA cherche depuis le début des années 1980 à combiner le potentiel de rendement des cultivars créés en Amérique du Nord avec l'aptitude "généraliste" (ou de nodulation naturelle) des cultivars traditionnels en provenance d'Asie pour noduler et fixer l'azote sans inoculation dans les sols africains. Ce programme d'amélioration a produit une série d'excellents cultivars à fins multiples qui allient un port feuillu à un type de graine satisfaisant et à un potentiel de rendement élevé. Ces cultivars sont appréciés des petits paysans car ils fournissent de la biomasse pour le fourrage ou pour améliorer la fertilité du sol, en plus de permettre des rendements en graines élevés. Ils sont fortement encouragés actuellement dans de nombreux pays d'Afrique de l'Est et de l'Ouest. En Afrique australe, on a reconnu les bénéfices similaires d'un cultivar en grande partie non amélioré, 'Magoye'. Le 'Magoye' est un cultivar feuillu, indéterminé, relativement résistant aux stress et à la sécheresse de mi-saison, qui pousse mieux sur les sols pauvres que certains cultivars améliorés, et qui nodule bien avec les rhizobiums indigènes. Malgré la petitesse de ses graines jaunes et sa sensibilité à certaines maladies comme la pustule bactérienne, cela en fait un cultivar attractif pour les petits paysans d'Afrique australe.

Les recherches à l'IITA ont identifié des lignées de soja qui favorisent la germination de *Striga hermonthica* (Delile) Benth., une adventice parasite qui infecte le maïs, le sorgho et le mil et qui constitue l'un des principaux obstacles à la production de ces céréales en Afrique. La raison probable de cet effet du soja est la présence d'exsudats racinaires. L'inclusion de ces cultivars de soja en rotation culturale stimule la germination de *Striga* et réduit les taux d'infestation dans les cultures suivantes de sorgho, de maïs ou de mil du fait de la baisse du nombre de graines de *Striga* dans le sol. Après germination, les plantes de *Striga* n'arrivent pas à parasiter le soja, et meurent sans donner de graines. Un essai mené sur 3 ans au Bénin a montré que 2 saisons de soja suivi par du maïs réduisaient l'apparition de *Striga hermonthica* d'environ 80–90% tout en faisant passer le rendement du maïs de 1,5 t/ha à 3 t/ha. Des résultats similaires ont été obtenus dans des champs au Nigeria. Le soja devenant plus courant dans les zones où l'on cultive le maïs, le sorgho et le mil, les dégâts causés par *Striga hermonthica* devraient en être réduits d'autant.

Un certain nombre de sociétés semencières privées se sont lancées dans la sélection du soja en Afrique australe, en privilégiant notamment les cultivars adaptés à une production mécanisée. Elles ont pour objectifs certaines caractéristiques, en particulier un fort rendement en graines, la résistance à la verse et à l'égrenage spontané des gousses, la déshydratation rapide des tiges, la qualité des graines et la résistance aux maladies (spécialement les taches foliaires rouges et les taches ocellées). Parmi les nouveaux cultivars, citons 'Solitaire', 'Soma', 'Soprano' et 'Viking', qui présentent tous une certaine résistance à la maladie des taches ocellées. Ces cultivars sont tous spécifiques dans leur aptitude à la nodulation et nécessitent une inoculation avec les rhizobiums appropriés. On produit, on vend et on utilise des inoculums pour le soja à grande échelle à la fois au Zimbabwe et en Afrique du Sud.

Le soja est une espèce de premier plan dans le cadre de la transformation génétique. En 2001, la superficie mondiale plantée en soja transgénique tolérant aux herbicides était estimée à 33 millions d'ha ; il était cultivé aux Etats-Unis, en Argentine, au Canada, au Mexique, en Uruguay, en Roumanie et en Afrique du Sud. Des cartes de liaison génétique ont été élaborées pour le soja à partir de différents marqueurs (RFLP, SSR, RAPD, AFLP), et diverses cartes génétiques d'une densité modérée à élevée sont désormais disponibles. La régénération in vitro du soja est possible par l'organogenèse et l'embryogenèse somatique.

Perspectives Le soja est une culture relativement récente en Afrique tropicale. On a longtemps pensé que ce n'était pas une plante alimentaire qui convenait à la région, à cause de la longueur de son temps de cuisson et de son goût inacceptable. Toutefois, au fil des dernières décennies elle a rapidement gagné du terrain en Afrique tropicale. Le Nigeria en particulier a connu une expansion rapide de la production de soja chez les petits paysans dans la zone des savanes au cours des années 1990. Le

moteur de cette expansion a été l'emploi du soja dans la préparation de nombreux plats traditionnels ainsi que l'introduction du tofu de soja qui n'a pas tardé à devenir l'un des en-cas les plus répandus sur les marchés de la région et est désormais largement employé par l'industrie alimentaire. Dans certaines régions, la baisse des prix mondiaux peut limiter les occasions qu'ont les producteurs locaux de répondre à la hausse de la demande locale de soja. Ce dernier peut jouer un rôle de plus en plus important dans la diversification des systèmes agraires céréaliers en Afrique tropicale. Outre qu'ils représentent une source d'azote résiduelle pour les céréales qui suivent dans la rotation, les nouveaux cultivars à fins multiples mis au point par l'IITA ont un autre atout : ils permettent de limiter les dommages causés par *Striga hermonthica* sur le maïs, le sorgho et le mil, offrant ainsi l'occasion déterminante aux petits paysans de bénéficier de rotations culturales durables. Il y a donc de fortes chances pour qu'à l'avenir la production de soja se répande dans de nombreux pays d'Afrique tropicale.

Références principales Boerma & Specht, 2004; Carsky et al., 2000; Dashiell & Fatokun, 1997; Hymowitz, 1995; Javaheri & Baudoin, 2001; Mpepereki et al., 2000; Sanginga et al., 2003; Shanmugasundaram & Sumarno, 1989; Sinclair, 1998; Singh, Rachie & Dashiell (Editors), 1987.

Autres references Akem & Dashiell, 1996; Aljanabi, 2001; Dashiell & Akem, 1991; FAO, 1998; Giller, 2001; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Hume, Shanmugasundaram & Beversdorf, 1985; ILDIS, 2005; James, 2002; Mackinder et al., 2001; Musiyiwa, Mpepereki & Giller, 2005; Rehm & Espig, 1991; Sanginga, Thottappilly & Dashiell, 2000; Sanginga et al., 1997; Sanginga et al., 1999; Shannon & Kalala, 1994; Thulin, 1989a; Tindall, 1983; USDA, 2004; Weiss, 2000.

Sources de l'illustration Shanmugasundaram & Sumarno, 1989.

Auteurs K.E. Giller & K.E. Dashiell
Basé sur PROSEA 1: Pulses.

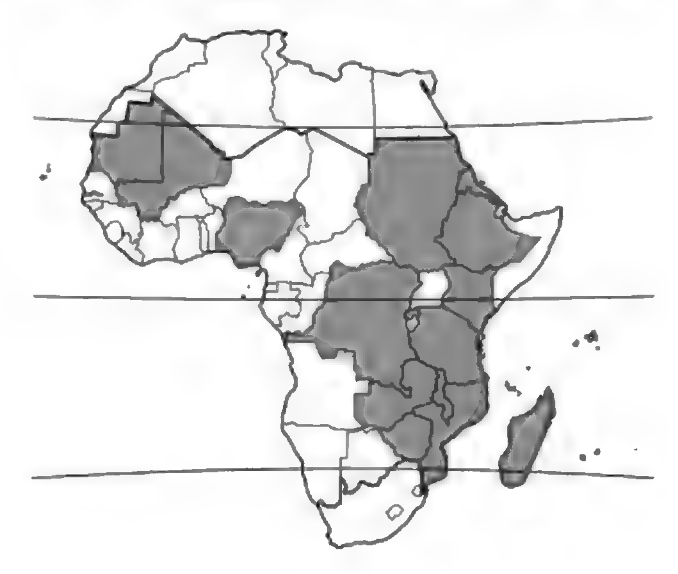
HORDEUM VULGARE L.

Protologue Sp. pl. 1: 84 (1753).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 14$
Synonymes *Hordeum sativum* Jess. (1863).

Noms vernaculaires Orge (Fr). Barley (En). Cevada (Po). Shayiri (Sw).

Origine et répartition géographique L'orge a été domestiquée en Asie occidentale avant 7000 av. J.-C. Sa culture s'est répandue dans le nord de l'Afrique et a remonté le Nil jusqu'à atteindre l'Ethiopie, où elle est devenue l'une des céréales les plus importantes. On ne sait pas exactement quand l'orge est arrivée en Ethiopie, mais cela fait au moins 5000 ans qu'elle y est cultivée. L'orge a gagné le sud de l'Espagne vers 4000–5000 av. J.-C. et elle a atteint l'Europe du Nord et centrale, ainsi que l'Inde, vers 2000–3000 av. J.-C. En Chine, elle est arrivée en 1000–2000 av. J.-C. Au Sahara, elle était cultivée dans les oasis en 100–300 av. J.-C., mais il semble qu'elle n'ait pas migré plus au sud en Afrique de l'Ouest avant le XVI[e] siècle après J.-C. Christophe Colomb l'a introduite dans le Nouveau Monde. De nos jours, c'est la céréale dont l'aire de culture couvre les zones écologiques les plus diverses, depuis 70°N en Norvège jusqu'à 44°S en Nouvelle-Zélande. En Ethiopie, au Tibet et dans les Andes, sa culture se pratique sur les flancs des montagnes à des altitudes bien supérieures à celles des autres céréales. Pour ce qui est de l'Afrique tropicale, on la trouve surtout en Afrique de l'Est. En Afrique de l'Ouest, l'orge est une culture de saison froide du Sahel et du nord du Nigeria. A Madagascar, elle se cultive pendant la saison sèche.

Usages A l'échelle mondiale et par ordre d'importance, l'orge est utilisée en alimentation du bétail, pour le maltage (notamment en brasserie) et en alimentation humaine. Dans les régions tropicales et subtropicales, c'est surtout pour l'alimentation humaine qu'elle est pro-



Hordeum vulgare – *planté*

duite. En Ethiopie et en Erythrée, la plus grande partie de l'orge en grains sert à confectionner un pain local ("injera"), qui ressemble à une crêpe ; mais on en fait aussi bien des bouillies et des soupes que des boissons de ménage, alcoolisées ou non. Au Kenya et en Tanzanie, elle a surtout une importance en brasserie. Grillés ou sautés, ses grains se dégustent en amuse-gueule, particulièrement lors des festivités.
La paille d'orge sert de nourriture et de litière aux animaux domestiques ainsi que de matériau de couverture pour les huttes. L'orge peut être pâturée pendant le tallage, ou fauchée avant maturité et donnée directement aux animaux, ou encore ensilée. Dans les régions tempérées, les grains d'orge sont également donnés aux animaux. Les sous-produits du brassage entrent aussi dans l'alimentation du bétail.

Production et commerce international La production mondiale annuelle d'orge se monte à 136 millions de t de grains (moyenne de 1999–2003) sur 54 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Fédération de Russie, l'Allemagne et le Canada, qui produisent respectivement 16,2, 12,1 et 11,4 millions de t par an. En Afrique tropicale, le principal producteur d'orge est l'Ethiopie, avec 950 000 t de grain sur 870 000 ha entre 1999–2003, suivie par le Kenya (45 000 t sur 20 000 ha) et l'Erythrée (24 000 t sur 44 000 ha). En Ethiopie et en Erythrée, l'orge est produite principalement pour la subsistance, et en Ethiopie, la part de l'orge de brasserie ne représente que 2% de la production totale. De petites superficies (moins de 4000 ha) sont cultivées en Mauritanie, en R.D. du Congo, en Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe. La plus grande partie de l'orge produite est consommée au niveau national, et seuls 20 millions de t par an sont entrés dans le commerce international dans la période 1998–2002. Les plus gros exportateurs sont l'Union européenne, l'Australie et le Canada ; l'Arabie saoudite, la Chine et le Japon sont les plus gros importateurs. En 1998–2002, les principaux importateurs en Afrique tropicale étaient le Zimbabwe et l'Ethiopie, dont la moyenne annuelle s'élevait à 8000 t pour l'un et 3000 t pour l'autre.

Propriétés La composition de l'orge, par 100 g de partie comestible, est de : eau 9,4 g, énergie 1482 kJ (354 kcal), protéines 12,5 g, lipides 2,3 g, glucides 73,5 g, fibres alimentaires 17,3 g, Ca 33 mg, Mg 133 mg, P 264 mg, Fe 3,6 mg, Zn 2,8 mg, vitamine A 22 UI, thiamine 0,65 mg, riboflavine 0,29 mg, niacine 4,6 mg, vitamine B_6 0,32 mg, folates 19 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est de : tryptophane 208 mg, lysine 465 mg, méthionine 240 mg, phénylalanine 700 mg, thréonine 424 mg, valine 612 mg, leucine 848 mg et isoleucine 456 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 999 mg, acide palmitique 411 mg, acide oléique 241 mg et acide linolénique 110 mg (USDA, 2004). On ne peut pas employer d'orge pour fabriquer du pain levé en raison de sa faible teneur en gluten. La teneur relativement élevée en fibres alimentaires présente un intérêt sur le plan nutritionnel, car il est prouvé que l'augmentation de ces fibres aide à lutter contre le diabète, l'hyperlipidémie, l'obésité, l'hypertension, les maladies coronariennes et divers troubles gastro-intestinaux. Si l'orge est préférée au blé et au seigle pour le maltage, c'est en raison de ses lemmes et paléoles scellées, qui protègent la jeune plumule pendant la germination, donnent un grain plus ferme à la teneur en humidité élevée nécessaire à la macération et au maltage, et facilitent le filtrage.

Description Graminée annuelle atteignant 120(–150) cm de haut, tallant abondamment ; système racinaire constitué de 3–9 racines primaires et de racines adventives ; tige (chaume)



Hordeum vulgare – 1, partie inférieure de la plante ; 2, épi ; 3, épillets.
Source: PROSEA

habituellement érigée. Feuilles 5–10 par chaume, alternes, simples ; gaine glabre, à grandes auricules qui se chevauchent à l'apex ; ligule de 1–3 mm de long, hyaline, ciliée ; limbe linéaire-lancéolé, de 5–40 cm × 0,5–1,5 cm. Inflorescence : épi terminal cylindrique de 5–10(–30) cm de long, composé de groupes de 3 épillets disposés de façon alterne. Epillets à 1 fleur, celle-ci étant bisexuée ; glumes étroites, faisant environ la moitié de la longueur de la lemme, garnies de fines soies à l'extrémité ; lemme ovale, de 9–11 mm × 3 mm, à 5 nervures, se terminant habituellement en une arête pouvant atteindre 15 cm de long ; paléole aussi longue que la lemme, sans arête ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain), ellipsoïde, aplati et cannelé d'un côté, de taille variable selon le cultivar, poilu à l'extrémité.

Autres données botaniques Le genre *Hordeum* comprend 32 espèces. Les hybrides issus de croisements de *Hordeum vulgare* avec d'autres espèces de *Hordeum* sont stériles ou présentent des anomalies. La grande variabilité de l'orge a conduit dans le passé à distinguer de nombreuses espèces. Aujourd'hui, on s'accorde pour dire qu'une seule espèce, *Hordeum vulgare*, est impliquée dans l'évolution de l'orge, qui forme un complexe de plantes cultivées et d'adventices, dans lequel l'orge cultivée a évolué à partir de populations sauvages. On obtient facilement des hybrides fertiles entre les types sauvages et cultivés et ils apparaissent naturellement là où les deux parents croissent côte à côte. L'orge sauvage a été classée comme subsp. *spontaneum* (C.Koch) Thell. (synonyme : *Hordeum spontaneum* C.Koch), répartie en Afrique du Nord, à l'est de la Méditerranée et en Asie occidentale ; les types cultivés ont été classés quant à eux dans la subsp. *vulgare*.

La variabilité de l'orge cultivée est immense, avec des milliers de variétés-populations et des centaines de cultivars. Les cultivars peuvent être distingués en fonction du nombre de rangs de grains (2 ou 6), de l'aspect des épis (lâche ou compact), ou de la présence ou absence d'arêtes sur les lemmes. Tous les types sauvages possèdent des épis à deux rangs, ce qui signifie que sur les 3 épillets situés à chaque nœud, les deux latéraux sont stériles et seul celui du milieu forme une graine. La domestication a donné naissance à des types à 6 rangs où chacun des 3 épillets produit des grains. Ici, 2 gènes interviennent, chacun présentant une série d'allèles multiples ; mais une seule mutation récessive suffit pour qu'un type à 2 rangs se transforme en type à 6 rangs. Les cultivars d'Afrique de l'Ouest sont à 6 rangs, mais en Ethiopie (surtout dans les plus hautes terres) on trouve un type d' "orge irrégulière", à 2 rangs pleins et les autres partiellement développés. Chez l'orge vêtue, la lemme et la paléole adhèrent au grain lors du battage, tandis que chez l'orge nue, le grain s'en libère. C'est un unique gène récessif qui détermine ce caractère. En fonction des besoins de vernalisation, on classe l'orge en types d'hiver et de printemps.

Croissance et développement La plantule lève en 5–6 jours après la germination. Des talles sont produites sur la pousse principale jusqu'à l'initiation florale. Le nombre de talles par plante est influencé par la densité de plantation, le cultivar et les facteurs du milieu : une seule plante forme généralement 1–6 tiges, mais de faibles densités peuvent multiplier plusieurs fois ce nombre. Le moment de l'initiation florale varie selon le cultivar, mais en général l'orge fleurit plus tôt que le blé. Espèce de jours longs à réaction quantitative, l'orge fleurit plus tôt lorsque la photopériode est plus longue ; mais la sensibilité photopériodique diffère d'un cultivar à l'autre, allant de très sensible à pratiquement insensible. Les fleurs s'autofécondent largement, mais la pollinisation croisée peut atteindre les 10%. Le grain mûrit en 20–40 jours. L'orge peut mûrir dans une courte saison de 3–4 mois, ce qui est moins long que la durée requise pour les autres céréales importantes.

Ecologie L'orge croît sous des conditions de photopériode, de température et de précipitations très variables, mais elle est mieux adaptée aux climats tempérés. Elle supporte les températures élevées sous des climats secs et l'humidité sous des climats frais, mais elle est mal adaptée aux climats chauds et humides, avant tout en raison de sa sensibilité aux maladies. En Ethiopie, on trouve de l'orge à 1500–3500 m d'altitude, mais elle est surtout cultivée entre 2000 m et 3000 m. Au Kenya, elle est cultivée à 1500–3000 m d'altitude.

L'orge d'hiver nécessite une vernalisation par une période de basses températures (de 3–12°C). L'orge est adaptée à des précipitations annuelles allant de 200 mm à plus de 1000 mm. Elle échappe à la sécheresse, en raison de sa maturité précoce, davantage qu'elle ne la tolère.

Ce sont les limons ou les sols légèrement argileux bien drainés et fertiles qui conviennent le mieux à la production d'orge. L'orge supporte mieux les sols alcalins que les autres céréales,

mais elle ne tolère pas les sols acides ; un pH de 6,0–8,5 est généralement acceptable. Elle est très sensible à l'asphyxie racinaire. Certains cultivars sont capables de faire face à une salinité du sol atteignant 1%.

Multiplication et plantation L'orge se sème directement. Le poids de 1000 graines se situe à 25–50 g. Avant le semis, on laboure à une profondeur de 10–15 cm. Dans les petites exploitations, la préparation du sol s'effectue par traction animale. Il est préférable de traiter les semences avec un fongicide pour protéger la culture des maladies propagées par la graine et par le sol. L'orge peut se semer au semoir, mais sur les petites exploitations, le semis se fait d'habitude à la main. Avec le semoir, la distance entre les lignes est de 15–35 cm et la densité de semis est de 50–150 kg/ha. La profondeur de semis est de 2–6 cm.

Sur les hautes terres d'Ethiopie, l'orge est cultivée deux fois par an. La saison agricole principale ("meher") se situe en juin–décembre (le gros des pluies tombant en juin–septembre), et la petite saison ("belg") en février–juin (avec le gros des pluies en mars–avril). L'orge est la culture qui convient le mieux à la saison "belg". On la trouve en général en culture pure, mais en Erythrée et au nord de l'Ethiopie, on l'associe souvent au blé (dans le système de culture nommé "hanfetz"). En Erythrée, la tradition est de semer à la volée des mélanges de 67% d'orge et de 33% de blé ; mais la proportion est parfois de 50:50. Tandis qu'en Ethiopie et en Erythrée, l'orge est cantonnée aux petites exploitations, au Kenya elle se cultive dans de grandes exploitations mécanisées.

Gestion Les mauvaises herbes sont à l'origine de pertes économiques, du fait de la réduction du nombre de talles et de grains par épi. Les paysans sans ressources désherbent à la main. L'herbicide le plus couramment employé pour lutter contre les adventices dicotylédones en post-levée est le 2,4-D. L'orge nécessite environ 25–35 kg d'azote pour produire 1 t de grains. On peut épandre l'azote avant le semis ou en surface après le semis. Par temps sec, l'application de doses élevées d'azote peut entraîner des diminutions de rendement, tandis que sous conditions favorables, de fortes doses d'azote augmentent le risque de verse et de maladies. Un excès d'engrais azotés sur l'orge de brasserie peut augmenter le niveau de protéines du grain au-dessus du seuil acceptable.

En Ethiopie, les paysans ont coutume de faire pousser l'orge dans des sytèmes à faibles intrants, en limitant au minimum la préparation du lit de semis et le désherbage, et sans recourir aux herbicides, aux engrais ou aux insecticides. Une faible fertilité du sol et une mauvaise gestion des adventices représentent des contraintes importantes. Lors d'essais à Holetta, une application de 57 kg de N et de 25 kg de P par ha a entraîné une hausse de rendement en grains atteignant 200%, tandis qu'un seul désherbage manuel pratiqué 35 jours après la levée a produit un accroissement du rendement de 20% comparé à une culture non désherbée. La verse constitue également un problème fréquent dans la culture de l'orge en Ethiopie. En Afrique de l'Ouest, l'orge est une culture de saison sèche, souvent sous irrigation.

Maladies et ravageurs L'orge est affectée par plusieurs maladies virales et fongiques. Les maladies virales les plus importantes sont le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV), transmis par diverses espèces de pucerons, et le virus de la mosaïque striée de l'orge (BSMV), transmis par la graine ou par contact entre plantes. La lutte contre le BYDV fait appel à des cultivars tolérants ou résistants et à des mesures de lutte contre les pucerons ; pour le BSMV, on a recours à des semences exemptes de virus et à des cultivars résistants. Des épidémies de striure africaine des céréales causées par le virus de la striure du maïs (MSV) et transmises par des cicadelles (*Cicadulina* spp.) se sont déclarées au Kenya. Parmi les maladies fongiques importantes, il faut citer l'oïdium (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*, synonyme : *Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*), les taches nécrotiques (*Bipolaris sorokiniana*, synonyme : *Helminthosporium sativum*), la rhynchosporiose (*Rhynchosporium secalis* f.sp. *hordei*), la tavelure (*Fusarium* spp.), les rouilles (*Puccinia* spp.), la rayure réticulée (*Pyrenophora teres*), l'helminthosporiose (*Pyrenophora graminea*) et les charbons (*Ustilago* spp.). En Ethiopie et en Erythrée, ce sont la rhynchosporiose, les helminthosporioses et les rouilles qui constituent les maladies fongiques les plus importantes ; le recours à des cultivars résistants est souvent la mesure de lutte la plus efficace. Les autres mesures comprennent la rotation des cultures, l'utilisation de semences saines ou traitées, les fongicides, la destruction du matériel végétal infecté et le labour profond. L'orge peut être parasitée par plusieurs nématodes : les nématodes à kyste des céréales (*Heterodera* spp.), les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.), les nématodes des tumeurs de racines (*Subanguina radicicola*) et les nématodes des lésions de racines (*Pratylenchus* spp.). Les mesures de lutte

comprennent la rotation des cultures et la jachère. L'amélioration génétique pour la résistance et le recours aux pathogènes fongiques ont été employés avec succès contre les nématodes à kystes des céréales.

L'orge est sensible aux attaques de nombreux types de ravageurs, dont les pucerons, les mouches des pousses, les sauterelles, les grillons, les thrips, les légionnaires, les vers gris, ainsi que les coléoptères et leurs larves. On peut lutter contre ces ravageurs en jouant sur la date de semis et en appliquant des insecticides. En général, les pertes dues aux ravageurs sont relativement limitées, mais ils provoquent des dégâts bien plus importants comme vecteurs de virus, notamment le BYDV. Pour l'orge, les principaux ravageurs d'entreposage sont les insectes et les rongeurs.

Récolte L'orge est prête à être récoltée lorsque le taux d'humidité du grain atteint 35–40%. La récolte se fait à la main à l'aide d'une faucille, ou à la moissonneuse-batteuse. Le battage de l'orge de brasserie et de l'orge nue nécessite un soin particulier pour éviter de briser trop de grains.

Rendements Les rendements en orge varient de 0,3 t/ha les années sèches et dans des milieux marginaux à 10 t/ha en agriculture intensive. En Afrique, les rendements moyens se situent à 0,3–2,5 t/ha. En Asie et en Amérique du Sud, ces moyennes sont de 1,5–1,7 t/ha, en Amérique du Nord de 2,9 t/ha et en Europe de 4 t/ha. Les rendements en paille sont tout aussi importants dans de nombreux pays en voie de développement, mais on ne dispose pas de statistiques.

Traitement après récolte Une teneur élevée en humidité dans les grains d'orge à la récolte favorise le développement de mycotoxines dangereuses pour l'homme et le bétail. Avant son stockage, le grain doit être séché pour atteindre au maximum 14% d'humidité. Lorsque l'orge est cultivée sur de petites superficies, il est courant de conserver certains épis choisis pour fournir la semence de la culture suivante.

Ressources génétiques Les collections de ressources génétiques actuellement conservées à l'ICARDA (Centre international de recherche agricole sur les régions arides, à Alep, Syrie) contiennent plus de 25 000 entrées. L' "International Barley Core Collection" a été constituée depuis 1989 par un consortium international auquel appartient l'ICARDA. De nombreux programmes nationaux maintiennent leurs propres collections de travail. L'Institute of Biodiversity Conservation (IBC, Addis Abéba, Ethiopie) possède une collection de plus de 12 500 entrées. En Afrique subsaharienne, de petites collections sont détenues en Afrique du Sud (National Department of Agriculture, Pretoria ; Small Grain Institute, Bethlehem), à Madagascar (Département de recherches agronomiques de la République malgache, à Antananarivo) et au Kenya (National Genebank of Kenya, KARI, à Kikuyu, Muguga). Au stockage, l'orge se comporte de façon orthodoxe.

Sélection Les méthodes de sélection utilisées pour l'orge sont typiques des espèces autogames. Jusqu'en 1950, la principale méthode d'amélioration était soit la sélection massale soit la sélection de lignées pures au sein des variétés-populations, ces dernières étant toujours cultivées de nos jours dans de nombreux pays comme l'Ethiopie. Une nouvelle variabilité a été créée par croisement, croisement en retour et mutation. La sélection récurrente est employée pour augmenter la recombinaison, par croisement entre les plantes F_1 et en répétant les croisements entre un certain nombre de F_2, ou bien en ayant recours à des gènes de stérilité mâle. L'amélioration génétique par mutations, provoquées par radiations ou agents chimiques, et la technique des haploïdes doublés ont été largement utilisés chez l'orge. Parmi les centres internationaux, c'est l'ICARDA qui a reçu le mandat mondial d'assister les programmes d'amélioration de l'orge lancés par les systèmes nationaux de recherche agricole (SNRA) dans les pays en développement. La sélection moderne a donné naissance à des types dont la composition en acides aminés est améliorée (la lysine constituant 4,1% de la protéine). L'accent a été mis surtout sur la production de cultivars résistants aux maladies et ravageurs et adaptés à des environnements agroécologiques particuliers. Une résistance aux pucerons a été incorporée à certains cultivars. L'orge éthiopienne s'est avérée particulièrement utile dans l'amélioration de la qualité nutritionnelle et pour fournir des résistances aux maladies fongiques et virales (dont le mildiou, les charbons, les rouilles, l'helminthosporiose, la rhynchosporiose, le BYDV et le BSMV). En Ethiopie, 9 cultivars améliorés d'orge ont été mis sur le marché entre 1980 et 2000, mais leur taux d'adoption est faible (11% de la superficie).

Les premières cartes génétiques du génome de l'orge sont apparues en 1991, et à ce jour, il en a été publié plus de 40.

Perspectives En général, d'importantes

améliorations dans la production d'orge sont possibles grâce à la sélection de cultivars résistants à la verse et aux maladies. Etant donné que la plupart des efforts d'amélioration concernaient des milieux favorables, le potentiel de cette céréale en agriculture à faibles intrants est largement sous-exploité. Dans les hautes terres éthiopiennes, où l'orge est la culture vivrière favorite, la fertilité du sol a chuté en raison de l'érosion et d'une culture continue. Il a donc été difficile dans ces conditions d'améliorer les cultivars paysans adaptés localement. Le teff (*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter), céréale de base éthiopienne, prend actuellement le pas sur l'orge en raison de prix favorables sur le marché, ce qui diminue l'importance des très productifs cultivars d'orge à 6 rangs. Dans ces régions, une sélection visant des cultivars à maturation précoce et à meilleure résistance / tolérance au stress hydrique que ceux qui existent à l'heure actuelle pourrait renverser la tendance. L'Ethiopie possède la capacité de faire face à la demande locale en orge de brasserie et à produire pour le marché africain. Elle peut y réussir en améliorant et en produisant une orge de brasserie de grande qualité, capable de répondre aux normes des brasseurs, en augmentant en parallèle le nombre et la capacité des malteries et en fournissant une infrastructure commerciale efficace.

Références principales Ceccarelli & Grando, 1996; Gebre & van Leur (Editors), 1996; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Harlan, 1995; Hockett, 2000; Mathre, 1997; Nevo, 1992; Rasmusson (Editor), 1985; Slafer et al., 2002; von Bothmer, Jacobsen & Baden, 1995.

Autres références Asfaw, 1990; Aw-Hassan & Shideed, 2003; Berhane, Yitbarek & Fekadu, 1995; Briggs, 1978; Burkill, 1994; Clayton, 1972; Engels, Hawkes & Worede (Editors), 1991; Launert, 1971; National Research Council, 1996; Phillips, 1995; Purseglove, 1972; Rehm & Espig, 1991; Sharpley, 1988; Tarekegne, Gebre & Francis, 1997; Thomas, 2003; USDA, 2004; von Bothmer et al., 2003; Williams, 2003; Woldeamlak, 2001; Yirga, Alemayehu & Sinebo (Editors), 1998.

Sources de l'illustration Ceccarelli & Grando, 1996.

Auteurs S. Ceccarelli & S. Grando
Basé sur PROSEA 10: Cereals.

LATHYRUS SATIVUS L.

Protologue Sp. pl. 2: 730 (1753).

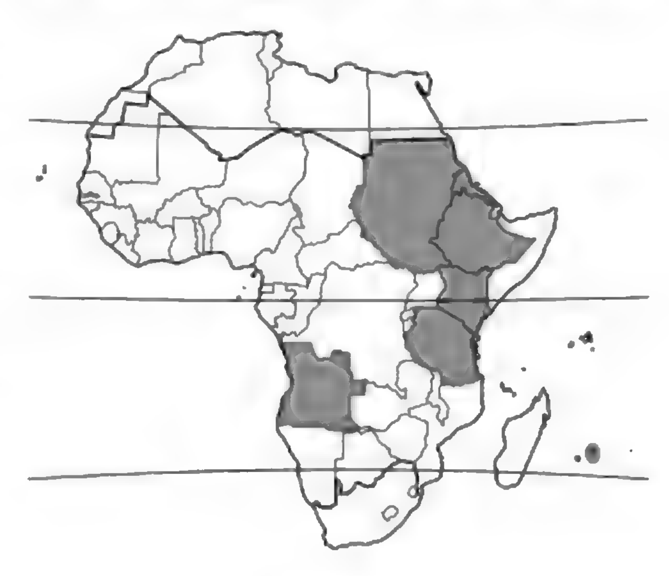
Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 14$

Noms vernaculaires Gesse, gesse blanche, gesse commune, pois carré, lentille d'Espagne (Fr). Grass pea, chickling pea, chickling vetch, white pea (En). Chícharo, chícharo comun, sincho (Po).

Origine et répartition géographique L'origine de *Lathyrus sativus* est inconnue. Il existe des mentions de plantes sauvages de *Lathyrus sativus* en Irak, mais on ne sait pas bien s'il s'agit de plantes vraiment sauvages ou échappées des cultures. *Lathyrus sativus* dérive peut-être de *Lathyrus cicera* L., qui est présent à l'état sauvage en Europe méridionale, en Afrique du Nord et à l'ouest de l'Asie, et où il est parfois cultivé. La domestication de la gesse a probablement eu lieu dans les Balkans vers 6000 avant J.-C. Des restes de *Lathyrus sativus* remontant à 2000–1500 avant J.-C. sont signalés en Inde. De nos jours, la gesse est largement cultivée sur de vastes régions en Asie (en particulier le Bangladesh, l'Inde, le Népal, le Pakistan et le Proche-Orient), en Europe méridionale et en Afrique du Nord, et dans une moindre mesure en Amérique, en Australie et en Afrique du Sud. En Afrique tropicale, elle est surtout cultivée en Ethiopie, mais également au Soudan, en Erythrée, au Kenya, en Tanzanie, en Angola et à l'île Maurice.

Usages En Ethiopie et en Erythrée, les graines de gesse se consomment surtout sous forme de sauces (les "wot") ; le "shiro wot" (sauce à base de farine) et le "kik wot" (sauce à base de



Lathyrus sativus – planté

graines cassées décortiquées) se mangent avec l' "injera" (grande crêpe utilisée comme pain). Les graines de gesse cuites à l'eau ("nifro") sont aussi consommées dans la plupart des régions, tandis que la "kitta" (un pain non levé) à base de graines de gesse, se consomme surtout en période de pénurie alimentaire aiguë. En Inde, on fait cuire les graines entières à l'eau, mais la plupart du temps, on en fait du dal. La farine, produite en broyant les graines entières ou cassées, se vend sous le nom de "besan". Au Bangladesh, le "roti" à base de farine de gesse constitue la nourriture de base des ouvriers agricoles sans terre. En Inde, la gesse est parfois vendue frauduleusement à la place du pois chiche ou du pois cajan, qui sont des légumes secs plus chers. Mais il faut faire attention lorsque l'on mange des graines de gesse car une consommation excessive entraîne des troubles neurologiques chez les humains et chez les animaux, que l'on appelle lathyrisme et qui se caractérise par une paralysie des membres inférieurs. Dans de nombreux pays, les graines de gesse servent d'aliment pour les animaux, par ex. elles entrent dans la composition des aliments de démarrage et de croissance des porcs.

En Asie, les gousses immatures sont cuisinées et consommées comme légume, ou bien elles servent d'amuse-gueule, une fois cuites à l'eau et salées. Les parties végétatives jeunes se préparent comme légume vert ; on les fait également sécher pour les employer comme légume hors saison. Les jeunes plantes de gesse servent de fourrage pour le bétail ou de pâture dans de nombreux pays. Les tiges et la balle qui subsistent après la récolte sont souvent la principale raison de la culture de cette plante en Asie. S'il s'agit de fourrage, les plantes peuvent se manger vertes ou en foin ; elles ne peuvent pas être ensilées. La gesse se cultive comme engrais vert, par ex. en Australie et au Canada. L'huile des graines a des applications en médecine, où elle sert de cathartique puissant.

Production et commerce international Selon des estimations, l'Inde a produit environ 0,8 million de t de graines de gesse par an sur 1,5 million d'ha au milieu des années 1990 ; au Bangladesh en revanche, la production était inférieure (175 000 t sur 240 000 ha) ainsi qu'au Pakistan (45 000 t sur 130 000 ha). Vers la fin des années 1990, la production en Ethiopie a été estimée à 105 000 t sur 142 000 ha. En tant que grain alimentaire, la gesse est traditionnellement commercialisée à l'intérieur de sa zone de production et n'entre pas dans le commerce international.

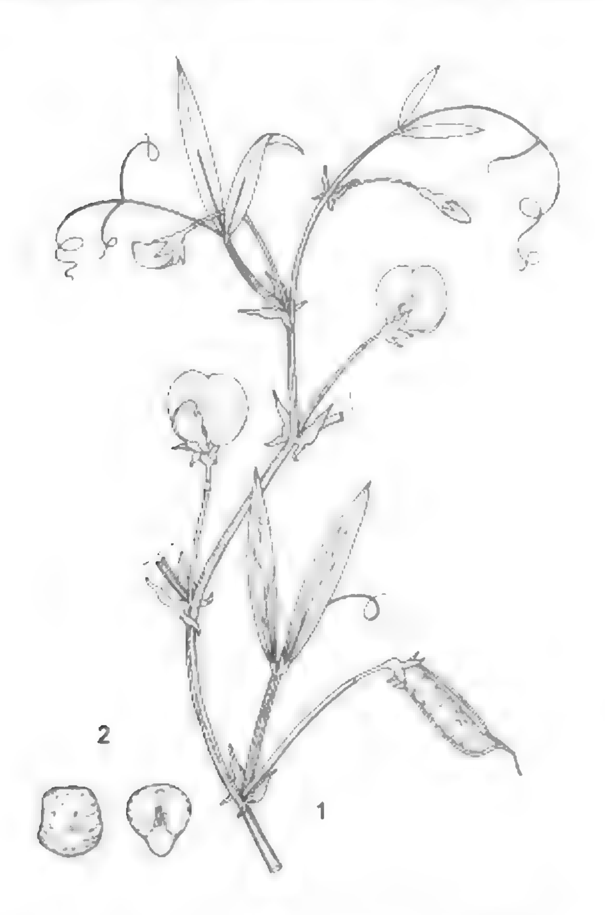
Propriétés La composition des graines entières de gesse, par 100 g de partie comestible, est : eau 8,4 g, énergie 1457 kJ (348 kcal), protéines 27,4 g, lipides 1,1 g, glucides 59,8 g, fibres 7,3 g, Ca 127 mg, P 410 mg et Fe 10,0 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La gesse est nettement déficiente en méthionine et tryptophane. Les graines entières crues contiennent 41% d'amidon sur la matière sèche ; les granules d'amidon, de forme ovale, font en moyenne 25 μm de long et 17 μm de large.

L'affection neurologique appelée lathyrisme est provoqué par un acide aminé non protéique soluble dans l'eau, l'ODAP (acide β-N-oxalyl-L-α,β-diaminopropionique), également connu sous les sigles BOAA (β-N-oxalylamino-L-alanine) et OAP (acide L-3-oxalylamino-2-aminopropionique). Présent dans toutes les parties de la plante, l'ODAP affecte différentes parties du système nerveux central, en interrompant la neurotransmission et en détériorant l'activité musculaire. A ses débuts, le lathyrisme peut être aussi bien lent que soudain ; il se manifeste souvent par une sensation de lourdeur et de douleurs des membres inférieurs. C'est une maladie souvent irréversible, mais non mortelle. Il semble qu'elle survienne lorsque la quantité de gesse ingérée est d'au moins 25% du régime, et que la consommation se prolonge sur 1,5–6 mois ; la maladie peut alors toucher jusqu'à 5% de la population. Les cas de lathyrisme se déclarent souvent au cours de quasi famines, qui forcent les gens à trop s'en remettre à la gesse. Classiquement, la teneur des graines de gesse en ODAP varie de 0,1–1,4(–2,5) g par 100 g de graines. Les niveaux d'ODAP ne sont pas seulement déterminés génétiquement, ils dépendent aussi largement des conditions culturales. En général, le trempage et la cuisson des graines à l'eau réduisent leur niveau d'ODAP, et cet effet est renforcé si on change l'eau après trempage et en cours de cuisson. Lorsque les graines sont réduites en farine, celle-ci étant utilisée en pâtisserie ou en cuisine, il est possible que l'ODAP y subsiste. Malheureusement, les traitements efficaces de détoxication aboutissent souvent à une baisse de la qualité nutritionnelle. Parmi les autres facteurs antinutritionnels chez la gesse, il faut citer les inhibiteurs de trypsine, les tanins, les lectines, des phytates et des oligosaccharides.

Le foin de gesse contient : eau 14,6%, protéines 9,9%, lipides 1,9%, fibres 36,5%, extrait sans azote 31,0% et cendres 6,1%. Les graines de

cultivars dont la proportion d'ODAP atteint 0,22 g par 100 g de graines pourraient faire partie des aliments de croissance des poulets à raison de 400 g de graines de gesse par kg d'aliment, sans effet négatif sur la prise de poids, ou la digestibilité des lipides ou des protéines.

Description Plante herbacée annuelle fortement ramifiée, érigée, rampante ou grimpante, glabre ; tige mince, carrée, ailée, atteignant 90(–170) cm de long ; racine pivotante bien développée. Feuilles alternes, 2- ou 4-foliolées, se terminant en une vrille simple ou ramifiée ; stipules proéminentes, foliacées, étroitement triangulaires, pourvues d'un appendice basal plus petit mais de forme similaire et souvent d'une petite dent entre les lobes ; pétiole souvent ailé, de (1–)1,5–2,5(–3,5) cm de long ; folioles sessiles, étroitement elliptiques-oblongues, de (3–)4–5(–7,5) cm × 3–5(–13) mm, cunéiformes à la base, aiguës ou acuminées à l'apex. Fleurs solitaires à l'aisselle des feuilles, bisexuées, papilionacées, pédicelle articulé, partie inférieure de (1–)3–3,5(–5) cm de long, partie supérieure de (2–)5–7(–8) mm de long ; calice campanulé, tube d'environ 3 mm de long, lobes 5, presque égaux, étroitement triangulaires, de 3–6 mm de long ; corolle bleue, rougeâtre-violette, rouge, rose ou blanche, étendard érigé et étalé, très largement obovale, d'environ 15 mm × 18 mm, à onglet, rétus au sommet, ailes largement obovales, d'environ 14 mm × 8 mm, à onglet et à auricule, carène légèrement torse, en forme de coque de bateau, d'environ 10 mm × 7 mm, à onglet et à 2 auricules ; étamines 10, dont 9 réunies et 1 libre ; ovaire supère, sessile, d'environ 6 mm de long, style brusquement tourné vers le haut, d'environ 7 mm de long, stigmate en forme de cuillère. Fruit : gousse oblongue et aplatie de (1,5–)2,5–4,5(–5,5) cm × 0,5–2 cm, bord supérieur à 2 ailes et à bec court, glabre, à (1–)2–5(–7) graines. Graines en forme de coin, de 4–7 mm de diamètre, blanches, vert pâle, grises ou brunes, marbrées ; hile elliptique. Plantule à germination hypogée.



Lathyrus sativus – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, graines.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Lathyrus* comprend environ 150 espèces, principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord et en Amérique du Sud ; il y a quelques espèces en Afrique. *Lathyrus sativus* est situé dans la section *Lathyrus* de même qu'une trentaine d'autres espèces annuelles ou vivaces. Sur la base de leur capacité à s'hybrider et de données cytologiques, *Lathyrus amphicarpos* Gouan et *Lathyrus cicera* L. ont été placés dans le pool génique secondaire de la gesse. Plus récemment, on a réussi à obtenir des croisements entre *Lathyrus sativus* et *Lathyrus pseudocicera* Pamp. *Lathyrus sativus* mis à part, les autres espèces de *Lathyrus* cultivées en Ethiopie sont la plante ornementale *Lathyrus odoratus* L. et la plante fourragère *Lathyrus aphaca* L.

La classification infraspécifique repose essentiellement sur la couleur des fleurs, les marques sur les gousses et la taille et la couleur des graines. En général, les graines blanches sont les plus prisées pour la consommation humaine. Le taux de variabilité infraspécifique d'après les marqueurs RAPD est faible comparé à celui d'autres légumineuses à graines telles que la lentille et le pois. A partir d'une analyse d'isozymes, on a découvert que la variabilité la plus élevée était en Asie occidentale et en Afrique du Nord.

Croissance et développement C'est aux alentours de 20°C que la germination des graines de gesse est la plus rapide. La floraison intervient 1,5–4 mois après le semis. La biologie florale de la gesse favorise l'autogamie (les anthères sont habituellement déhiscentes avant

l'ouverture complète de la fleur), mais de nombreux cas d'allogamie importante (jusqu'à 28%) ont été signalés. Le cycle cultural complet est de 3–6 mois. La gesse nodule efficacement avec *Rhizobium leguminosarum*.

Ecologie La gesse réussit bien dans les régions où la pluviométrie annuelle est de 400–650 mm/an et où la température moyenne est de 10–25°C. Elle supporte les fortes pluies en début de croissance, et une sécheresse prolongée lors du remplissage du grain. Elle pousse bien dans les régions subtropicales comme culture d'hiver. La gesse se cultive sur de nombreux types de sols, y compris les sols pauvres et les argiles lourdes. Elle tolère l'asphyxie racinaire et une salinité modérée. En Ethiopie, la gesse est souvent cultivée en saison sèche sur l'humidité résiduelle dans les sols noirs argileux lourds, à 1700–2700 m d'altitude. En Inde, c'est une culture de saison froide, jusqu'à 1200 m d'altitude.

Multiplication et plantation La gesse se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 30–300 g. En Ethiopie, le lit de semis n'a pas besoin d'être fin ; 1–2 labours suffisent. La densité moyenne de semis est habituellement de 45–60 kg/ha pour une culture pure, et d'environ 35 kg/ha en association. On sème les graines à la volée ou en sillons après les avoir éventuellement fait tremper dans l'eau pendant une nuit. Des densités de 200 000–250 000 plantes/ha sont courantes. En Ethiopie, la gesse est généralement semée en septembre–novembre et récoltée en janvier–avril. La gesse se cultive soit en culture pure, soit en association, par ex. avec de l'orge, du lin ou des pois chiches. Dans de nombreux pays, la gesse est produite dans des systèmes de riziculture, avant ou en alternance avec le riz. En Inde, la gesse est souvent cultivée comme culture de relais : elle se sème à la volée dans une culture de riz sur pied, 2 semaines environ avant la récolte du riz, et on la fait pousser sur l'humidité résiduelle.

Gestion Souvent, la gesse ne reçoit pratiquement aucun soin après avoir été semée, bien que pour des rendements optimaux, il vaut mieux enlever le gros des mauvaises herbes. Dans un champ bien préparé, la culture se développe en une masse épaisse et couvre toute la surface du sol, étouffant ainsi les adventices. D'habitude, la gesse ne reçoit pas d'engrais, mais des taux de fixation d'azote atmosphérique de 25–50 kg/ha ont été enregistrés. En Ethiopie, la gesse se cultive en rotation après l'orge ou parfois après un légume sec, tel que pois ou pois chiche, semé en avril et récolté en juillet.

Maladies et ravageurs Les principales maladies de la gesse sont l'oïdium (*Erysiphe pisi*) et le mildiou (*Peronospora* spp.), mais ce dernier n'apparaît pas en Ethiopie. Des cas de rouille (*Uromyces fabae*) et de fusariose (*Fusarium oxysporum*) ont été rapportés en Ethiopie. Le virus de la jaunisse nécrotique de la fève (FBNYV) a été observé sur la gesse en Ethiopie ; il se transmet par les pucerons *Acyrtosiphon pisum* et *Aphis craccivora*. Dans des études de spectre d'hôtes, on a découvert que la gesse était sensible au virus de la mosaïque du pois transmis par graines (PSbMV). Les pucerons et les thrips comptent parmi les insectes ravageurs de la gesse. Le puceron du pois (*Acyrthosiphon pisum*) est son principal ravageur en Ethiopie.

Récolte La récolte de la gesse doit être effectuée lorsque les feuilles jaunissent et que les gousses virent au gris, pour éviter l'égrenage. Les plantes s'arrachent à la main ou se coupent à la faucille à la base. Puis on les met en meules et on les laisse sécher 7–8 jours au champ ou sur l'aire de battage.

Rendements Le rendement moyen en graines de gesse est de 350–700 kg/ha ; en Ethiopie, il avoisine les 700 kg/ha. Lors d'essais de production menés récemment dans différents pays, on a fait état de niveaux de rendements de 1500–3000 kg/ha.

Traitement après récolte Le battage des gousses s'effectue par dépiquage avec des animaux, ou à l'aide de bâtons ; ensuite on procède au vannage et au nettoyage des graines. On peut faire sécher les graines quelques jours avant de les stocker.

Ressources génétiques L'ICARDA (Alep, Syrie) détient une collection de *Lathyrus* d'environ 1880 entrées, dont 1560 appartiennent à l'espèce *Lathyrus sativus*. D'importantes collections de ressources génétiques de gesse sont également conservées en France (IBEAS, Laboratoire d'écologie moléculaire de l'Université de Pau ; 1810 entrées), en Australie (Australian Temperate Field Crops Collection, Horsham, Victoria ; 844 entrées), en Russie (Institut Vavilov, à St. Petersbourg ; 688 entrées), au Bangladesh (Plant Genetic Resources Centre, Bangladesh Agricultural Research Institute (BARI), à Joydebpour, Gazipour ; 584 entrées) et aux Etats-Unis (à l'USDA/ARS Western Regional Plant Introduction Station de Pullman, à Washington ; 248 entrées). En Afrique tropicale, des collections de ressources génétiques

sont conservées en Ethiopie (197 entrées à l'Institute of Biodiversity Conservation d'Addis Abeba ; 13 entrées à l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI) d'Addis Abeba) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu : 4 entrées). Au stockage, les graines de gesse présentent un comportement orthodoxe.

Sélection L'objectif principal pour l'amélioration génétique de la gesse est la réduction des niveaux d'ODAP ; c'est la meilleure méthode pour obtenir un produit sans danger. Deuxièmement, l'augmentation du potentiel génétique en termes de rendement est un but important. Les autres objectifs d'amélioration sont l'incorporation d'une résistance aux maladies et l'augmentation de la taille des graines, une maturité plus précoce et un indice de récolte plus élevé. Des lignées possédant une résistance moyenne à l'oïdium ont été identifiées. En Ethiopie, un grand nombre d'entrées et de lignées de sélection provenant de l'ICARDA sont résistantes à l'oïdium.
Mais chez la gesse, les améliorations ont pris du temps. En Afrique, il n'y a encore sur le marché aucun cultivar amélioré à haut rendement, à faible teneur en ODAP et doté de résistance aux stress biotiques et abiotiques. Mais en Inde, il y a eu quelques tentatives pour fournir des cultivars améliorés à faible teneur en ODAP. Au Chili et au Bengladesh, des lignées prometteuses ont également été identifiées, à faible taux d'ODAP et à haut rendement. Récemment, sur les 13 lignées à faible teneur en ODAP identifiées en Ethiopie, trois lignées introduites et provenant de l'ICARDA ont constamment présenté des taux d'ODAP faibles et de bons rendements pendant trois années consécutives. Cependant, le taux important d'allogamie chez la gesse a limité les progrès dans l'identification de lignées stables à faible teneur en ODAP ; la multiplication des graines des lignées sélectionnées doit se faire en isolement, et elles doivent être fournies aux paysans chaque année.
Une embryogenèse somatique indirecte (à partir de tissus) est possible chez la gesse à l'aide de méristèmes apicaux, de bourgeons axillaires et d'explants de tiges, de feuilles et de racines. L'embryogenèse somatique directe a été réalisée à partir de folioles immatures et de segments nodaux. Des somaclones combinant une faible teneur en ODAP et un rendement élevé ont été créés. Les autres approches biotechnologiques pour obtenir des types de gesses à faible teneur en ODAP concernent l'incorporation de gènes dégradeurs d'ODAP à partir de microbes, et l'emploi de la technologie antisens pour réprimer les gènes responsables de la biosynthèse de l'ODAP. Des plantes de gesse transgéniques ont été produites par bombardement des explants avec des particules enrobées d'ADN. Des cartes de liaison génétique du génome de *Lathyrus sativus* ont été dressées à l'aide de différents marqueurs moléculaires (RAPD, STMS et STS/CAPS), et des locus de caractères quantitatifs associés à une résistance à l'ascochytose (*Mycosphaerella pinodes*) ont été localisés pour réaliser le transfert éventuel de ce caractère chez l'espèce apparentée *Pisum sativum* L.

Perspectives La gesse est la moins prisée des légumineuses alimentaires communes, mais elle possède un certain nombre de caractéristiques qui la rendent intéressante, en particulier pour les paysans sans ressources, à cause de son adaptation à des conditions difficiles comme la sécheresse et l'engorgement des sols. Par conséquent, cela fait d'elle une culture utile pour des sols secs et pauvres et une plante de secours lorsque les autres cultures ont échoué. Toutefois, la présence dans les graines de la toxine ODAP est un inconvénient sérieux, qui pose un réel danger pour la santé des consommateurs. La culture de la gesse est souvent déconseillée, et elle a parfois même été interdite, par ex. dans certains Etats de l'Inde, mais cela a été sans effet en l'absence d'alternative bon marché. Par conséquent, la priorité dans l'amélioration génétique de la gesse est la création de cultivars à haut rendement à faible teneur en ODAP, qui puissent être consommés sans risque. Par ailleurs, il est nécessaire d'approfondir les recherches pour trouver des méthodes efficaces de détoxication qui ne réduisent pas la valeur nutritionnelle des graines.

Références principales Campbell, 1997b; Campbell et al., 1994; Jansen, 1989a; Kay, 1979; Kearney & Smartt, 1995; Kislev, 1989; Knight (Editor), 2000; Muehlbauer & Kaiser (Editors), 1994; Smartt, 1984; Westphal, 1974.

Autres références Akalu et al., 1998; Barna & Mehta, 1995; Chowdhury & Slinkard, 2000; Croft, Pang & Taylor, 1999; Dadi et al., 2003; Getahun, Lambein & Vanhoorne, 2002; Getahun et al., 2002; Hanbury et al., 2000; ILDIS, 2002; Leung, Busson & Jardin, 1968; Mehta, Ali & Barna, 1994; Mehta & Santha, 1996; Mondal et al., 1998; Rotter, Marquardt & Campbell, 1991; Skiba, Ford & Pang, 2004; Spencer, 1994; Tekle Haimanot et al., 1993; Thulin, 1989a; Wuletaw & Endashaw, 2003;

Yunus & Jackson, 1991.

Sources de l'illustration Jansen, 1989a.

Auteurs S.S. Yadav & G. Bejiga

LENS CULINARIS Medik.

Protologue Vorles. Churpfälz. Phys.-Ökon. Ges. 2: 361 (1787).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 14$

Synonymes *Lens esculenta* Moench (1794), *Vicia lens* (L.) Coss. & Germ. (1845).

Noms vernaculaires Lentille, lentillon (Fr). Lentil, common lentil (En). Lentilha (Po). Mdengu (Sw).

Origine et répartition géographique La lentille est un des plus anciens légumes secs cultivés en Asie occidentale, en Egypte et en Europe méridionale. Elle est probablement originaire d'Asie occidentale, d'où elle s'est diffusée vers la Méditerranée, en Asie, en Afrique et en Europe. Dans l'Antiquité, la lentille faisait régulièrement partie de l'alimentation des Grecs, des Juifs et des Romains, et c'était le plat de subsistance des pauvres, surtout en Egypte. Elle a été associée à de nombreuses légendes, contes et coutumes, et c'est le premier légume sec mentionné dans la Bible. Les plus anciens restes archéologiques de lentille ont été retrouvés en Grèce, datés de 11 000 avant J.-C., ainsi qu'en Syrie, datés de 8500–7500 avant J.-C. Mais on ne sait pas bien s'il s'agissait de plantes cultivées ou sauvages. C'est à partir du 5ᵉ millénaire avant J.-C. que l'on trouve des graines identifiées sans conteste comme domestiquées. La lentille a été introduite aux Amériques, en Nouvelle-Zélande et en Australie. Elle est maintenant largement cultivée dans les régions tempérées et subtropicales, ainsi que dans les tropiques en altitude et pendant les saisons froides. En Afrique tropicale, elle est cultivée au Soudan, en Erythrée, en Ethiopie (principalement sur les hauts plateaux du nord, du centre et de l'est), au Kenya, en Tanzanie, au Malawi, au Zimbabwe, à Madagascar, à la Réunion et à l'île Maurice. Sa culture se pratique aussi au Maroc, en Tunisie, en Algérie, en Libye, en Egypte et en Afrique du Sud.



Lens culinaris – planté

Usages La lentille est surtout cultivée pour ses graines mûres, qui sont consommées principalement en sauces et en soupes. En Ethiopie, on les utilise pour confectionner le "kik wot" (sauce de graines cassées), de la soupe (à base de graines entières ou de farine), le "nufro" (cuites à l'eau et salées), l' "azifa" (cuites et réduites en purée) et l' "elbet" (pâte de farine de lentille). De nombreux autres plats à base de lentilles sont préparés dans différents pays. On peut citer une salade de lentilles épicée, des galettes de lentilles accompagnées d'une sauce au yaourt et à la coriandre, un hachis de lentilles et de champignons, et les pommes de terre aux lentilles. En Inde, les graines cassées ("dal") s'emploient en soupe et la graine entière se mange salée et frite. Les graines sont réduites en une farine qui sert à fabriquer des galettes et des pains, ou à préparer des aliments spéciaux destinés par ex. aux nourrissons ou aux invalides. Les jeunes gousses, les graines germées et les feuilles se consomment comme légume.

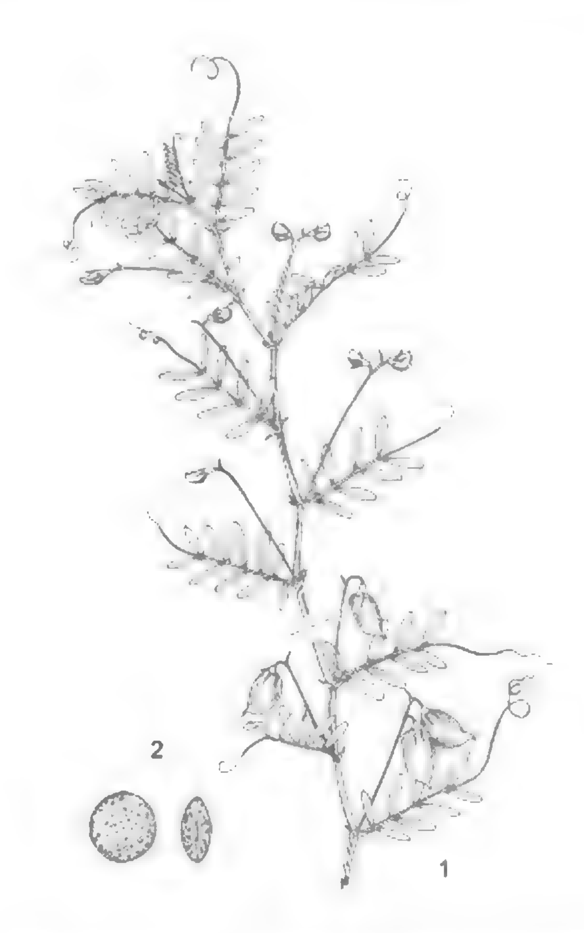
On nourrit parfois les animaux, en particulier les volailles, avec des graines de lentille pour leur procurer des protéines. Elles sont parfois employées comme source d'amidon dans l'industrie textile et dans l'imprimerie. Les cosses, les téguments et les tiges feuillées fraîches ou sèches fournissent du fourrage pour le bétail. La lentille se cultive parfois pour le fourrage ou comme engrais vert, bien que la production en matière sèche soit peu élevée. Sa paille sert de combustible. Les graines, dit-on, seraient un remède contre la constipation et d'autres problèmes intestinaux. En Inde, elles sont appliquées en cataplasme sur les plaies qui mettent du temps à guérir. En Ethiopie, on attribue aux graines des propriétés aphrodisiaques.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale de lentilles en 1999–2003 s'élevait à 3,1 millions de t/an sur 3,8 millions d'ha. Les principaux producteurs étaient l'Inde

(948 000 t/an sur 1,43 million d'ha), le Canada (616 000 t/an sur 554 000 ha) et la Turquie (473 000 t/an sur 490 000 ha). En Afrique tropicale, le principal producteur est l'Ethiopie (47 000 t/an sur 78 000 ha). Environ 60% de la production de lentille en Afrique (Afrique du Nord comprise) provient d'Ethiopie, où la superficie cultivée a baissé depuis le milieu des années 1980, mais cette tendance s'est inversée depuis la fin des années 1990 en raison de la mise sur le marché de cultivars résistants à la rouille et à la fusariose. Au Malawi, la lentille est cultivée au nord (près de Mzimba) pour approvisionner la communauté indienne. Les exportations mondiales de lentilles en 1998–2002 se sont élevées à près de 1 million de t/an. Les principaux exportateurs étaient le Canada (430 000 t/an), la Turquie (127 000 t/an), l'Australie (124 000 t/an) et l'Inde (120 000 t/an). Les principaux importateurs étaient l'Egypte (90 000 t/an), le Sri Lanka (86 000 t/an) et la Turquie (81 000 t/an).

Propriétés La composition de graines de lentilles mûres crues, par 100 g de partie comestible, est : eau 11,2 g, énergie 1413 kJ (338 kcal), protéines 28,1 g, lipides 1,0 g, glucides 57,1 g, fibres alimentaires 30,5 g, Ca 51 mg, Mg 107 mg, P 454 mg, Fe 9,0 mg, Zn 3,6 mg, vitamine A 39 UI, thiamine 0,48 mg, riboflavine 0,25 mg, niacine 2,6 mg, vitamine B_6 0,54 mg, folates 433 µg et acide ascorbique 6,2 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 251 mg, lysine 1957 mg, méthionine 238 mg, phénylalanine 1383 mg, thréonine 1006 mg, valine 1392 mg, leucine 2034 mg et isoleucine 1212 mg (USDA, 2004). Les principaux acides aminés limitants sont la méthionine et la cystine. Parmi les facteurs antinutritionnels on trouve les inhibiteurs de trypsine, les hémagglutinines, les tanins, les phytates et les oligosaccharides, mais leurs taux sont beaucoup plus faibles que ceux des pois et des fèves, par exemple, et la lentille a la réputation d'être plus facile à digérer. Le foin de lentille contient 10,2% d'humidité, 4,4% de protéines, 1,8% de lipides, 50,0% de glucides, 21,4% de fibres et 12,2% de cendres.

Description Plante herbacée annuelle érigée, vert pâle, atteignant 60(–75) cm de haut ; tige carrée, fortement ramifiée ; racine pivotante mince. Feuilles alternes, composées-pennées à 5–16 folioles ; rachis de (1–)2,5–3,5(–5) cm de long, généralement terminé par une vrille ou une soie ; stipules entières, de 2,5–6 mm de long ; folioles opposées ou alternes, sessiles, oblongues ou elliptiques, de (3–)10–15(–20) mm × (1,5–)2–5(–8) mm, entières. Inflorescence : grappe axillaire, à 1–4(–7) fleurs ; pédoncule mince, de (2–)3–4(–5,5) cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle court ; calice campanulé, à 5 lobes étroits, tube d'environ 1,5 mm de long, lobes d'environ 3 mm de long ; corolle bleu pâle, blanche ou rose, étendard de 5–7 mm × 4–5 mm, ailes d'environ 4,5 mm × 1,5 mm, carène d'environ 4,5 mm × 2 mm ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre, anthères uniformes ; ovaire supère, 1-loculaire, style infléchi, surface interne barbue. Fruit : gousse rhomboïde, comprimée latéralement, de 6–20 mm × 3,5–12 mm, pourvue d'un court bec, à 1–2(–3) graines. Graines en forme de lentille optique, de 2–9 mm × 2–3 mm, grises, vertes, vert brunâtre, rouge pâle mouchetées de noir, ou noires ; hile minuscule. Plantule à germination hypogée.



Lens culinaris – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, graines.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Lors d'une révision récente du genre *Lens*, 4 espèces ont été reconnues, sur la base de caractères morphologiques, de la capacité à s'hybrider, et de données cytogénétiques, biochimiques et molé-

culaires ; il s'agit de *Lens culinaris* (qui comporte des types tant sauvages que cultivés) et de 3 espèces sauvages : *Lens ervoides* (Brign.) Grande, *Lens nigricans* (M.Bieb.) Godr. et *Lens lamottei* Czefr. *Lens ervoides* se trouve en Afrique orientale (Ethiopie et Ouganda).

Lens culinaris a été divisé en 4 sous-espèces (1 cultivée et 3 sauvages) :

- subsp. *culinaris* : stipules entières, lancéolées, gousse indéhiscente, glabre, tégument tacheté ; c'est la lentille cultivée ;
- subsp. *odemensis* (Ladiz.) M.E.Ferguson et al. (synonyme : *Lens odemensis* Ladiz.) : stipules légèrement hastées, celles du bas au moins légèrement dentées, gousse déhiscente, glabre, tégument recouvert d'un motif en W ; originaire de Libye, d'Israël, de Turquie et de Grèce ;
- subsp. *orientalis* (Boiss.) Ponert (synonyme : *Lens orientalis* (Boiss.) Hand.-Mazz.) : stipules entières, obliquement lancéolées, gousse déhiscente, glabre, tégument généralement tacheté ; c'est l'ancêtre sauvage de la lentille cultivée, répartie depuis la Grèce jusqu'à l'Ouzbékistan et depuis la péninsule de Crimée jusqu'en Jordanie ;
- subsp. *tomentosus* (Ladiz.) M.E.Ferguson et al. (synonyme : *Lens tomentosus* Ladiz.) : stipules entières, obliquement lancéolées, gousse déhiscente, tomenteuse, tégument tacheté ; originaire de Syrie et de Turquie.

Les cultivars de lentilles ont été divisés en 2 groupes, principalement sur la base de la taille des graines :

- Groupe Microsperma : fleurs petites (de 5–7 mm de long), bleu-violet à blanches ou roses, gousses petites, convexes, graines petites (diamètre inférieur à 6 mm, poids de 1000 graines inférieur à 45 g), convexes, cotylédons rouges, orange ou jaunes ;
- Groupe Macrosperma : fleurs grandes (de 7–8 mm de long), blanches, rarement bleues, gousses grandes, généralement plates, graines grosses (diamètre supérieur à 6 mm, poids de 1000 graines dépassant 45 g), aplaties, cotylédons généralement jaunes, parfois orange.

Le Groupe Macrosperma est prédominant en Afrique du Nord, en Europe et en Amérique, tandis que le Groupe Microsperma domine en Asie, en Egypte et en Ethiopie. En Asie occidentale et dans le sud-est de l'Europe, on cultive les deux groupes de cultivars.

Croissance et développement Lorsque les températures sont optimales, les graines de lentille germent en 5–6 jours. La floraison débute 6–7 semaines après le semis. La lentille est habituellement autogame, mais la pollinisation croisée par les insectes peut atteindre 1%. Le cycle de croissance est de 80–110 jours pour les cultivars à cycle court et de 125–130 jours pour les cultivars à cycle long. La nodulation de la lentille se fait efficacement avec *Rhizobium leguminosarum*.

Ecologie La lentille est cultivée comme une annuelle d'été dans les zones tempérées et comme une annuelle d'hiver dans les régions subtropicales. Sous les tropiques, elle est cultivée à des altitudes élevées (1800–2500(– 2700) m en Ethiopie) ou comme plante de saison froide. Elle pousse à des températures moyennes de 6–27°C, mais elle ne convient pas aux régions tropicales chaudes et humides. Un gel intense ou prolongé et des températures bien supérieures à 27°C affectent énormément la croissance. La lentille nécessite une pluviométrie annuelle d'environ 750 mm et un temps sec au moment de la récolte, mais des précipitations annuelles de 300–2400 mm sont tolérées. Elle tolère modérément la sécheresse, mais il existe des différences entre les cultivars. La lentille a normalement besoin de jours longs pour fleurir, mais là aussi la réponse varie selon les génotypes, et il existe des cultivars indifférents à la longueur du jour. En Ethiopie, la lentille se cultive au cours de la brève saison des pluies ("belg", février–mai) et pendant la principale saison des pluies ("kiremt", juin–décembre), la seconde étant prédominante. Pour éviter l'asphyxie racinaire, la culture "kiremt" est semée sur des vertisols à la fin de la saison des pluies (en septembre) et croît sur l'humidité résiduelle du sol. En Inde, la culture se pratique pendant l'hiver, également sur l'humidité résiduelle du sol. La lentille peut se cultiver sur de nombreux types de sol, depuis les sols sableux à argileux assez lourds, mais elle ne supporte pas les sols inondés ou engorgés. Un pH avoisinant 7,0 est optimal pour la production de la lentille, mais elle tolère des pH de 4,5–9,0. La lentille est généralement très sensible à la salinité.

Multiplication et plantation La lentille se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 10–90 g. Stockées dans un endroit frais et sec, les graines restent viables pendant plus de 5 ans. Une période de dormance de 4–6 semaines est courante, et on a découvert que certains cultivars répondaient à la vernalisation. La température minimale de germination est de 15°C et la température optimale se situe vers 18–21°C ; des températures supérieures à

27°C sont nocives. Le lit de semis de la lentille doit être ferme et lisse. Les graines sont semées à la volée, ou plantées en lignes espacées de 20–90 cm en ménageant 5–25 cm entre les plantes sur la ligne. Les densités de semis vont de seulement 10 kg/ha en culture associée à 150 kg/ha pour les cultivars à grosses graines en culture pure. La profondeur de semis est de 1–6 cm selon la taille des graines et l'humidité disponible. La lentille est le plus souvent cultivée seule, mais il arrive qu'elle soit associée à d'autres cultures, par ex. en Inde avec l'orge, la moutarde ou le ricin.

Gestion La lentille ne concurrence pas bien les adventices, surtout à l'état jeune. Elle doit être semée dans un champ propre et un désherbage doit généralement être effectué dans les 3 semaines après le semis. La lentille répond normalement bien aux engrais phosphorés. Une lentille qui a bien nodulé réagit rarement à l'application d'azote. Une culture de lentilles produisant environ 2 t/ha de graines absorbe environ 100 kg de N, 12 kg de P et 65 kg de K à l'ha. Au Soudan, la culture est irriguée, mais dans les autres régions d'Afrique tropicale, c'est une culture pluviale. En Ethiopie, la lentille est souvent produite en rotation avec les principales céréales à petit grain. Dans une rotation, il faut éviter de semer des lentilles après d'autres légumineuses, des *Brassica*, du tournesol ou de la pomme de terre, car ils sont sensibles aux mêmes maladies.

Maladies et ravageurs Les maladies les plus importantes de la lentille sur le plan économique sont la rouille (*Uromyces viciae-fabae*), l'ascochytose (*Ascochyta fabae* f.sp. *lentis*), la pourriture grise (*Botrytis cinerea*), la stemphyliose (*Stemphylium botryosum*), la pourriture du collet (*Sclerotium rolfsii*) et la fusariose (*Fusarium oxysporum* f.sp. *lentis*). Les autres maladies fongiques sont le rhizoctone (*Rhizoctonia solani*), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*, *Leveillula taurica*), l'anthracnose (*Colletotrichum* spp.), l'alternariose (*Alternaria alternata*) et la pourriture de la tige et des racines (*Sclerotinia sclerotiorum*). La rouille, la fusariose et la pourriture des racines sont les maladies les plus importantes au Soudan, en Erythrée et en Ethiopie. Des pertes de rendement de 10% dues à la rouille et de 50% à cause de la fusariose des tiges et de la pourriture des racines ont été enregistrées sur la lentille cultivée sur vertisol en Ethiopie. Le symptôme de la rouille est le changement de couleur des tiges et des feuilles, qui de vertes deviennent violettes ; en cas d'infection grave, la rouille entraîne la mort de la plante. La propagation de la rouille est favorisée par une humidité élevée et des températures modérées (17–25°C). Les mesures de lutte font appel à la destruction des plantes atteintes, au traitement des semences aux fongicides et au recours à des cultivars résistants. La fusariose entraîne un enroulement des feuilles, suivi par le flétrissement de certains rameaux ou de la plante entière. Elle est favorisée par les sols légers et secs. Les mesures de lutte préconisées sont la rotation des cultures, le traitement des semences aux fongicides et le recours à des cultivars résistants. Des programmes de lutte intégrée contre les maladies ont été conçus pour lutter contre la fusariose et la pourriture des racines en Ethiopie et au Soudan. Les produits destinés au traitement des semences doivent être choisis et employés avec soin, car ils peuvent interférer avec le processus de nodulation. Plusieurs maladies virales affectent la lentille, les plus importantes étant le virus de la mosaïque du concombre (CMV), le virus de la jaunisse nécrotique de la fève (FBNYV), le virus de la mosaïque de la luzerne (AMV) et le virus de la maladie bronzée de la tomate (TSWV). Le virus de la mosaïque du pois transmis par graines (PSbMV) est courant en Ethiopie.

Les pucerons sont parmi les insectes ravageurs les plus importants de la lentille. En Ethiopie, le puceron du pois (*Acrythosiphon pisum*) est le plus important, car il provoque jusqu'à 25% de perte de rendement. Les graines stockées attirent les bruches (*Callosobruchus* spp.). L'orobanche (*Orobanche* spp.) est une adventice parasite importante de la lentille en Méditerranée et en Asie occidentale ; il est difficile de l'éliminer par des pratiques culturales ou des moyens génétiques.

Récolte On récolte la lentille lorsque les gousses virent au jaune-brun et que les plus basses sont encore fermes. Si l'on attend davantage, cela peut conduire à l'égrenage. Dans de nombreuses régions, la plante est coupée à la main au niveau du sol et on la laisse sécher une dizaine de jours avant de procéder au battage et au vannage. Une autre méthode, en Ethiopie par exemple, consiste à récolter les plantes en les arrachant à la main, puis à les laisser sécher au champ jusqu'à ce que les graines aient atteint un taux d'humidité de 12–13%. Aux Etats-Unis, la récolte est mécanisée, et s'opère de préférence lorsque l'humidité est de 18–20%, de façon à éviter qu'il y ait trop d'égrenage et de graines abîmées.

Rendements En Ethiopie, le rendement

moyen en graines de lentilles avoisine les 600 kg/ha, ce qui est inférieur à la moyenne mondiale d'environ 800 kg/ha. Sur les hautes terres éthiopiennes, où le cycle de culture est long, des rendements de près de 4 t/ha ont été obtenus au cours d'essais, et de plus de 2 t/ha dans les champs des agriculteurs où les pratiques culturales conseillées avaient été suivies. En Asie, les rendements moyens en graines sont de 300–600 kg/ha en cultures associées et de 900–1100 kg/ha pour les cultures pures. Des rendements en tiges feuillées atteignant 7 t/ha sont envisageables pour les lentilles tardives en Ethiopie.

Traitement après récolte La récolte de lentilles doit être séchée à un taux d'humidité de 11–14% ; à un taux inférieur, les graines ont tendance à se briser. En Ethiopie, on étale les plantes séchées sur une aire en ciment, sur laquelle elles sont dépiquées par des animaux de ferme, après quoi les graines sont séparées des résidus par vannage. Les graines nettoyées sont conservées entières ou décortiquées. A cause des insectes des greniers, surtout *Callosobruchus* spp., les graines de lentilles ne sont pas conservées plus de six mois, sauf si le stockage se fait dans une fosse (sous terre). Les graines récoltées mécaniquement peuvent être séchées dans des séchoirs à air chauffé, mais la température ne doit pas excéder 43°C, afin de réduire l'éclatement du tégument.

Ressources génétiques La plus grande collection de ressources génétiques de lentilles est celle de l'ICARDA (Centre international de recherche agricole sur les régions arides, à Alep, en Syrie), avec environ 10 000 entrées, dont des *Lens* sauvages. D'importantes collections sont également conservées à l'Australian Temperate Field Crops Collection (à Horsham, Victoria (Australie), environ 4800 entrées), à l'USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station (à Pullman, Washington (Etats-Unis), environ 2800 entrées), et à l'Institut Vavilov (à St. Petersbourg (Russie), environ 2400 entrées). La plus grande collection de ressources génétiques en Afrique tropicale (environ 370 entrées) est détenue par l'Institute of Biodiversity Conservation (IBC), à Addis Abeba (Ethiopie), pays considéré comme un centre secondaire de diversité pour la lentille. Quelques entrées de *Lens ervoides* ont été recueillies par l'IBC. La lentille cultivée présente un large spectre de variabilité au plan morphologique, aussi bien dans les parties végétatives que reproductives. Des analyses à l'aide de marqueurs biochimiques et moléculaires tels que RFLP et RAPD ne font généralement ressortir que peu de variabilité génétique, mais la variabilité est plus apparente lorsqu'on utilise des marqueurs ISSR.

Sélection Comme c'est le cas pour de nombreuses autres espèces autogames, la variabilité génétique de la lentille s'est structurée en variétés locales fixées endémiques de zones bien précises. Depuis les années 1920, les travaux de sélection ont porté prioritairement sur la collecte et l'évaluation des variétés locales, sur la base de leur rendement, de la taille des graines et de la résistance aux maladies. Aujourd'hui, la sélection est complétée par des programmes de croisement, l'objectif principal étant le rendement, mais on s'intéresse également à l'adaptation générale, à la tolérance aux stress écologiques, à la résistance aux maladies et aux ravageurs, et à la qualité nutritionnelle. D'énormes progrès ont été accomplis en matière de résistance à la rouille, à la fusariose, à l'ascochytose et à la stemphyliose.

L'ICARDA a été mandaté au niveau mondial pour effectuer les recherches sur l'amélioration de la lentille. Les programmes nationaux d'amélioration de la lentille dans les pays producteurs utilisent leurs propres collections de ressources génétiques ainsi que des introductions provenant d'autres instituts. Ces programmes nationaux de pays producteurs de lentilles ont mis sur le marché de nombreux cultivars. L'Ethiopie, par exemple, a produit 10 cultivars ('EL-142', 'R-186', 'Chalew', 'Chekol', 'Adaa', 'Gudo', 'Alemaya', 'Assano', 'Alem Tena' et 'Teshale') ; elle est en train d'en créer d'autres, destinés à différentes zones agroécologiques. Des cultivars issus de programmes de croisement sont également en cours d'obtention. Le Soudan quant à lui a produit des cultivars destinés à son agriculture irriguée.

On estime que les espèces sauvages apparentées sont potentiellement intéressantes pour améliorer la tolérance aux stress écologiques. Divers instituts se penchent sur l'aptitude au croisement de ces espèces sauvages entre elles et avec la lentille cultivée. Habituellement, les croisements entre *Lens culinaris* et *Lens ervoides* ou *Lens nigricans* avortent, mais les hybrides F_1 peuvent être sauvés et produire des générations F_2 en ségrégation viables et largement fertiles.

On est parvenu à mettre en place des cultures de tissus de lentille à partir de méristèmes apicaux, de segments nodaux et de plantules intactes. On a obtenu une transformation génétique de plantes de lentille par électroporation,

bombardement de particules et grâce aux méthodes utilisant *Agrobacterium*. Des plantes transgéniques fertiles ont été obtenues à l'aide du bombardement de particules. Des cartes de liaison génétique de la lentille ont été dressées.

Perspectives Les graines de lentilles sont savoureuses, relativement faciles à cuire et possèdent d'excellentes qualités nutritionnelles en raison de leur teneur élevée en protéines et de leur bonne digestibilité. Si la sensibilité de la lentille aux maladies, en particulier la rouille et la fusariose, a freiné son développement, d'énormes progrès ont été accomplis dans la sélection pour la résistance aux principales maladies. En Afrique du Nord et de l'Est, la demande en lentilles reste élevée, tandis que la superficie cultivée et la production, demeurées constantes ou en déclin jusqu'à la fin des années 1990, se sont redressées par la suite. La lentille connaît à l'heure actuelle un regain de la demande à l'export, qu'il est possible de satisfaire grâce aux efforts de la recherche et du développement pour accroître les rendements, mettre sur pied des systèmes d'approvisionnement en semences, et améliorer la qualité grâce aux industries de transformation. C'est une culture adaptée à des régions agroécologiques variées et qui est utile en rotation avec les céréales. Par conséquent, son rôle dans les systèmes agraires reste important, en particulier en Ethiopie.

Références principales Bayaa & Erskine, 1998; Ferguson et al., 2000; Jansen, 1989b; Kay, 1979; Knight (Editor), 2000; Muehlbauer, Cubero & Summerfield, 1985; Muehlbauer & Kaiser (Editors), 1994; Telaye et al. (Editors), 1994; Webb & Hawtin, 1981; Zohary, 1995.

Autres références Abraham & Makkouk, 2002; Bejiga, Tsegaye & Tullu, 1995; Bejiga et al., 1996; Durán et al., 2004; Erskine, 1997; Gulati, Schryer & McHughen, 2002; Hawtin & Chancellor (Editors), 1979; ICARDA, 2002; Lock, 1989; Polhill, 1990; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Rubeena, Ford & Taylor, 2003; Smartt, 1976; Sonnante & Pignone, 2001; Summerfield (Editor), 1988; Tadesse et al., 1999; Thulin, 1983; USDA, 2004; Westphal, 1974; Williams et al., 1994.

Sources de l'illustration Jansen, 1989b.

Auteurs G. Bejiga

LIMEUM OBOVATUM Vicary

Protologue Journ. As. Soc. Beng. 16: 1163 (1847).

Famille Molluginaceae

Nombre de chromosomes $n = 9$

Synonymes *Limeum indicum* Stocks ex T.Anderson (1861).

Origine et répartition géographique *Limeum obovatum* est réparti dans les régions désertiques de la Mauritanie, du Mali, du Niger, du Tchad, du Soudan et de l'Erythrée, et depuis l'Afrique du Nord et l'Arabie jusqu'au Pakistan.

Usages Au Tibesti (dans le nord du Tchad), on ramasse les graines de *Limeum obovatum* pour les manger. Elles constituent un aliment de famine pour les Touaregs du Hoggar, dans le sud de l'Algérie. Au Kordofan (Soudan), la plante à tous ses stades de croissance serait broutée par le bétail, en particulier les moutons. Au Tchad, la plante sert à traiter les brûlures.

Botanique Plante herbacée annuelle ou vivace à vie courte, à pubescence glanduleuse ; tiges prostrées, atteignant 40 cm de long, brun pâle, fortement ramifiées. Feuilles opposées, simples et entières ; stipules absentes ; pétiole atteignant 5 mm de long ; limbe orbiculaire à obovale ou elliptique, atteignant 12 mm × 10 mm, cunéiforme à la base, arrondi à l'apex. Inflorescence : cyme apparemment axillaire atteignant 5 mm de diamètre. Fleurs bisexuées, régulières, petites, vertes ; sépales 5, ovales, d'environ 2,5 mm de long, acuminés ; pétales absents ; étamines 7, insérées sur un disque ; ovaire supère, 2-loculaire, styles 2. Fruit s'ouvrant en 2 méricarpes ; méricarpe indéhiscent, hémisphérique, lisse, brun pâle, contenant 1 graine.

Le genre *Limeum* comprend une vingtaine d'espèces et est réparti dans les tropiques de l'Ancien Monde, son centre de répartition se trouvant au sud-ouest de l'Afrique. *Limeum* est parfois rattaché à la famille des *Aizoaceae* et plus rarement à celle des *Phytolaccaceae*.

Ecologie *Limeum obovatum* est présent sur les sols sableux et secs, souvent dans le lit des rivières asséchées. En Erythrée, on le trouve dans les endroits sablonneux des plaines côtières.

Ressources génétiques et sélection Il est improbable que *Limeum obovatum* soit menacé d'érosion génétique étant donné la vaste aire de répartition et ses conditions de milieu.

Perspectives *Limeum obovatum* semble

être une ressource sauvage utile des régions désertiques tant pour l'alimentation humaine qu'animale. Cependant, des recherches sur les propriétés nutritionnelles et chimiques des graines sont nécessaires.

Références principales Burkill, 1985; Burkill, 2000; Gast, 2000; Gilbert, 2000; Keay, 1954.

Autres références Ozenda, 1977.

Auteurs M. Brink

Lupinus albus L.

Protologue Sp. pl. 2: 721 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 50$

Noms vernaculaires Lupin blanc, lupin (Fr). White lupin, Egyptian lupin (En). Tremoceiro, tremoceiro branco, tremoceiro da Beira, tremoço (Po).

Origine et répartition géographique Le lupin blanc est originaire du sud-est de l'Europe et de l'Asie occidentale où des types sauvages sont encore présents. Sa culture est connue depuis l'antiquité en Grèce, en Italie, en Egypte et à Chypre. Au cours de l'histoire de sa culture, son importance a souvent fluctué : actuellement, il a quasiment disparu d'Europe centrale, alors qu'il est de plus en plus répandu aux Amériques. De nos jours, c'est un légume sec traditionnel secondaire, cultivé autour de la Méditerranée et de la mer Noire, dans la vallée du Nil, jusqu'au Soudan et en Ethiopie. Il est aussi parfois cultivé ailleurs, par ex. au Kenya, en Tanzanie, au Zimbabwe, en Afrique du Sud, à l'île Maurice, aux Etats-Unis et en Amérique du Sud (essentiellement au Brésil et au Chili).

Usages Le lupin blanc est cultivé traditionnellement pour la consommation humaine, comme engrais vert et comme plante fourragère. Avant d'être consommées, les graines sont tout d'abord mises à tremper 1–3 jours dans de l'eau courante afin d'en éliminer les alcaloïdes amers et toxiques, puis cuites et consommées comme légume sec ou marinées en saumure et servies en amuse-gueule. En Ethiopie, on obtient un alcool de grande qualité ("araki") en distillant des graines fermentées. En général, la consommation de graines de lupin blanc est réservée aux classes à revenu modeste ainsi qu'aux périodes de sécheresse, à cause de leur amertume. Les cultivars doux modernes contiennent très peu d'alcaloïdes et leurs graines ne nécessitent pas une détoxication laborieuse ; ils représentent un légume sec nutritif prometteur et peuvent être utilisés comme additif très nourrissant à la fois pour les produits d'alimentation humaine et animale.

Les plantes de lupin blanc sont données au bétail en tant que fourrage frais ou sec. En Europe du Sud, c'est une plante utilisée traditionnellement comme engrais vert dans les vignobles et les oliveraies. Le lupin blanc est une bonne plante mellifère doublée d'une plante ornementale attrayante. En médecine traditionnelle, il sert à traiter plusieurs affections, servant ainsi d'anthelminthique, de carminatif, de désobstruant, de diurétique et de pectoral. La farine de lupin mélangée à du miel ou du vinaigre est utilisée en cure contre les vers, alors que des infusions ou des cataplasmes sont appliqués en cas de furoncles et de problèmes de peau. On fait brûler les graines pour éloigner les insectes.

Production et commerce international Il n'existe pas de statistiques spécifiques à *Lupinus albus*. Près de 2 millions d'ha de lupin (toutes espèces confondues) sont cultivés dans le monde, dont 60% pour la production de graines principalement et 40% pour le fourrage et l'engrais vert. Le principal producteur de graines de lupin est l'Australie, avec environ 1,4 million t/an sur 1,2 million d'ha au début des années 1990, constituées essentiellement de *Lupinus angustifolius* L. pour les aliments du bétail.

Propriétés Les graines mûres et crues de *Lupinus albus* contiennent par 100 g de partie comestible : eau 10,4 g, énergie 1552 kJ (371 kcal), protéines 36,2 g, lipides 9,7 g, glucides 40,4 g, Ca 176 mg, Mg 198 mg, P 440 mg, Fe 4,4 mg, Zn 4,8 mg, vitamine A 23 UI, thiamine 0,64 mg, riboflavine 0,22 mg, niacine 2,2 mg, vitamine B_6 0,36 mg, folates 355 µg et acide ascorbique 4,8 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est la suivante : tryptophane 289 mg, lysine 1933 mg, méthionine 255 mg, phénylalanine 1435 mg, thréonine 1331 mg, valine 1510 mg, leucine 2743 mg et isoleucine 1615 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide oléique 3558 mg, acide linoléique 1995 mg, acide palmitique 742 mg, acide linolénique 446 mg, acide stéarique 316 mg et acide eicosénoïque 255 mg (USDA, 2005). Le tégument représente environ 15% du poids de la graine. L'utilisation protéique nette pour les humains est de 77% et la fraction protéique est pauvre en lysine et en méthionine. Les taux de composés antinutritionnels tels que les ta-

nins condensés et les inhibiteurs de trypsine sont inférieurs à ceux d'autres légumes secs. Des suspensions de poudre de graines ont montré des effets hypoglycémiques chez les rats.
Les principaux alcaloïdes du lupin blanc sont la lupanine, la 13-hydroxylupanine et la spartéine. Leurs effets pharmacologiques consistent à bloquer la transmission ganglionnaire, à réduire la contractilité cardiaque et à contracter le muscle lisse de l'utérus. Le "lupin doux" est défini comme ayant moins de 200 mg d'alcaloïdes/kg ; il peut être consommé sans précaution particulière. Chez les cultivars amers, les alcaloïdes, qui sont solubles dans l'eau, peuvent être éliminés des graines en immergeant celles-ci dans l'eau courante. Des techniques de transformation comme la germination et la fermentation dans du tempeh réduisent aussi considérablement les alcaloïdes. Le meilleur moyen reste l'élimination chimique, mais elle n'est pas économiquement réalisable à l'heure actuelle.
Lorsque le lupin blanc sert de fourrage sec, il peut provoquer la lupinose. Cette maladie est due à l'ingestion de toxines, connues sous le nom de phomopsines, qui sont produites par le champignon *Diaporthe toxica*, qui colonise les plantes de lupin. Il s'agit principalement d'une maladie des ovins mais qui peut survenir également chez d'autres animaux ; elle se caractérise par de graves lésions hépatiques, qui entraînent une perte d'appétit et une baisse de l'état général, la léthargie, la jaunisse et souvent la mort. Si l'on utilise des cultivars résistants à *Diaporthe*, par ex. 'Kiev' et 'Ultra', cela résout une grande partie du problème ; pour les autres cultivars, la suralimentation doit être évitée.

Botanique Plante herbacée annuelle, érigée, ramifiée, buissonnante, à poils courts, atteignant 120 cm de haut, à forte racine pivotante. Feuilles alternes, composées digitées à 5–9 folioles ; stipules linéaires à étroitement triangulaires, adnées à la base du pétiole jusqu'à 1 cm ; pétiole de 3,5–7(–12) cm de long ; folioles obovales, de 2–6 cm × 0,5–2 cm, cunéiformes à la base, arrondies et mucronées à l'apex, presque glabres dessus, poilues dessous. Inflorescence : fausse grappe terminale de 3–30 cm de long, à nombreuses fleurs, fleurs inférieures alternes, fleurs supérieures verticillées ; pédoncule court ou absent. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 1–2 mm de long ; calice de 8–14 mm de long, densément poilu à l'extérieur, tube d'environ 4 mm de long, à 2 lèvres, lèvre supérieure entière, lèvre inférieure entière ou légèrement 3-dentée ; corolle blanche à mauve-bleu, étendard obovale, de 15–18 mm × 8–12 mm, bords partiellement réfléchis, ailes obovales, de 13–17 mm × 6–10 mm, carène en forme de cuillère, de 12–15 mm × 4 mm, munie d'un bec ; étamines 10, toutes soudées en un tube ; ovaire supère, 1-loculaire, style d'environ 7,5 mm de long avec un anneau de petits poils sous le stigmate. Fruit : gousse étroitement oblongue, comprimée latéralement, de 6–15 cm × 1–2 cm, bombée au niveau des graines, brièvement poilue mais glabrescente, jaune, contenant 3–6 graines. Graines rectangulaires ou carrées à coins arrondis, latéralement comprimées, de 7–16 mm × 6–12 mm × 2–5 mm, plus ou moins lisses, blanches inégalement teintées de rose saumon ou mouchetées de marron foncé. Plantule à germination épigée.
Le genre *Lupinus* comprend environ 200 espèces, essentiellement américaines ; seules 12 d'entre elles sont originaires de l'Ancien Monde. En Afrique tropicale, on trouve 3 espèces indigènes ou naturalisées et 9 autres espèces ont été introduites. De nombreux *Lupinus* spp. sont des plantes ornementales de jardin, et 4 espèces sont des plantes agricoles cultivées à grande échelle.
Lupinus albus est un complexe de plantes cultivées, adventices et sauvages avec une large variabilité tant chez les types sauvages que cultivés. Tous les deux ont été classés comme sous-espèces alors qu'une classification en groupes de cultivars et cultivars serait plus appropriée. Le type sauvage est distingué sous le nom de subsp. *graecus* (Boiss. & Spruner) Franco & P.Silva (synonyme : *Lupinus graecus* Boiss. & Spruner) et est présent dans le sud-est de l'Europe et en Asie occidentale. La corolle est mauve-bleu foncé, les gousses mesurent 6–8 cm × 1–1,5 cm et perdent leurs graines par égrenage à maturité, et les graines sont de petite taille, de 7–10 mm × 6–8 mm × 2–3 mm, mouchetées de marron foncé avec un tégument imperméable. Les types cultivés sont distingués sous le nom de subsp. *albus* (synonyme : *Lupinus termis* Forssk.), avec une corolle blanche, des gousses de 9–15 cm × 1,5–2 cm, des graines de 10–14 mm × 8–12 mm × 3–5 mm, qui ne s'égrènent pas à maturité, blanc rosâtre ou blanches avec un tégument perméable. En Ethiopie, on trouve 2 types de plantes cultivées : un type à grosses graines cultivé aussi en Egypte et au Soudan, mais aussi un type à petites graines et à petites feuilles. Dans les parties septentrionales de l'aire de répartition

du lupin blanc, en Afrique du Sud ainsi qu'aux Amériques, ce sont principalement des cultivars modernes doux (contenant peu d'alcaloïdes) qui sont cultivés, tandis qu'en Méditerranée et en Afrique de l'Est, ce sont les variétés traditionnelles amères qui prédominent.
Le lupin blanc est essentiellement autogame, mais on peut rencontrer 5–10% d'allogamie. Il nodule efficacement avec les bactéries *Bradyrhizobium*. Des taux de fixation de l'azote atmosphérique atteignant 400 kg N par ha ont été observés en Europe et en Australie.

Ecologie Le lupin blanc sauvage préfère les milieux perturbés et les sols pauvres, où la concurrence avec les autres espèces est moindre. Il est généralement cultivé à des températures mensuelles moyennes de 15–25°C pendant la période de croissance, l'optimum étant 18–24°C. Des températures supérieures de même que le stress dû à l'humidité retardent la floraison et la formation des gousses. Le lupin blanc tolère le froid, mais des températures de –6 à –8°C nuisent à la germination, et des températures de –3 à –5°C à la floraison. La pluviométrie optimale pour le rendement est de 400–1000 mm durant la période de croissance. Les espèces de lupin sont tolérantes à la sécheresse grâce à la profondeur de leurs racines, mais sont sensibles à la carence en humidité pendant la période reproductive.
Le lupin est adapté aux sols bien drainés, légèrement acides ou neutres, de texture légère à moyenne, à pH compris entre 4,5–7,5. La croissance est ralentie sur des sols d'argiles lourdes engorgés, alors que les sols calcaires ou alcalins induisent la chlorose et limitent la croissance, empêchant souvent la culture. Le maximum de $CaCO_3$ toléré dans le sol est de 3–5 g/100 g. Certains cultivars de lupin blanc tolèrent mieux la salinité et les sols lourds que la plupart des autres plantes cultivées.
En Ethiopie, le lupin blanc est cultivé à 1500–3000 m d'altitude, sur des sols trop pauvres pour une bonne culture de fèves.

Gestion Le lupin blanc se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines varie entre 70 g chez certaines populations kényanes et plus d'1 kg chez des cultivars à graines modernes. Les graines peuvent être facilement stockées pendant 2–4 ans en conditions normales, voire plus longtemps à basse température. Dans les régions à hivers doux comme en Méditerranée, les graines sont semées à la volée ou en lignes de la mi-septembre à la fin octobre. La densité de semis est de 50–180 kg/ha, la profondeur de semis de 2,5–5 cm. En Ethiopie, les graines sont semées durant la principale saison des pluies (juillet–septembre). Le lupin blanc est souvent cultivé en culture intercalaire avec des céréales ou des légumineuses fourragères, ou bien en rotation avec des céréales. La lutte contre les mauvaises herbes est essentielle jusqu'à ce que la canopée se soit refermée. Le lupin blanc est sensible au manque de P, mais ses racines ont la faculté de disposer de plus de P grâce à l'acidification de la rhizosphère, une propriété dont bénéficient également les cultures associées. Le blé associé au lupin blanc a accès à un plus grand stock de P, Mn et N que s'il était en culture pure. L'inoculation du sol avec des bactéries du genre *Bradyrhizobium* est bénéfique, permettant de quintupler le rendement et d'obtenir des graines dont la teneur protéique est supérieure. Une souche d'inoculum bien connue et disponible dans le commerce est la souche australienne WU425.
Les principales maladies du lupin blanc sont la maladie des taches brunes causée par *Pleiochaeta setosa*, l'anthracnose (*Colletotrichum acutatum*), qui entraîne la mort prématurée de la plante par brisure de la tige, et la rouille (*Uromyces lupinicolus*). Des sources de résistance à l'anthracnose ont été découvertes chez les variétés locales éthiopiennes, mais on ne dispose pas encore de cultivars résistants. Le virus de la mosaïque jaune du haricot (BYMV) est la principale maladie virale, transmise à la fois par les pucerons et par les graines. Aucune source de résistance n'a été identifiée à ce jour. Le lupin blanc est insensible à la mosaïque du concombre (CMV), principale maladie des autres *Lupinus* spp. Les principaux ravageurs sont la mouche des semis (*Delia platura*, synonyme : *Phorbia platura*) qui provoque la flétrissure et la mort des semis, les larves de taupins et de noctuelles (par ex. *Agriotes* et *Agrotis* spp. qui tuent les semis), les limaces (qui attaquent les feuilles), les thrips (*Frankliniella* spp., qui attaquent les boutons floraux et les feuilles), les punaises *Miridae* (qui attaquent les jeunes gousses) et les vers de la gousse (comme *Helicoverpa armigera* qui se nourrit de gousses et de graines). En Ethiopie, la récolte a lieu en décembre. Les rendements en graines sont de 500–4000 kg/ha.

Ressources génétiques et sélection Les principales collections de ressources génétiques de lupin blanc se trouvent en France (INRA, Station d'amélioration des plantes fourragères, Lusignan, 1400 entrées), au Royaume-Uni (University of Reading, Reading, 1100 entrées),

en Australie (Western Australian Department of Agriculture, South Perth, 890 entrées) et en Espagne (Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Guadajira, 690 entrées). En Afrique tropicale, de petites collections sont détenues en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, Ethiopie, 25 entrées) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu, 20 entrées).

Les principaux objectifs de sélection du lupin blanc sont de produire des cultivars nains à croissance rapide, dépourvus d'alcaloïdes, qui résistent aux maladies (en particulier à l'anthracnose), à fort rendement, qui tolèrent des pH élevés, qui résistent au gel, et qui soient bien adaptés aux conditions écologiques locales. Il semble que les cultivars amers tolèrent le froid et le stress pathologique mieux que les doux. Le niveau d'allogamie pourrait limiter l'intérêt des cultivars de lupin blanc doux dans les régions où l'on trouve également des types adventices ou cultivés amers, car le pollen de ces derniers réintroduirait le caractère amer dans les semences de ferme. Les cultivars doux restent pourtant une condition préalable à tout progrès de sélection ultérieur. Les cultivars commerciaux sont des lignées pures créées par sélection généalogique. Parmi les cultivars bien connus, on peut citer : 'Eldo', 'Kiev', 'Multolupa' et 'Ultra', ainsi que 'Bahar Dar' d'Ethiopie.

Perspectives Le lupin blanc est une légumineuse annuelle prometteuse pour la consommation humaine, comme engrais vert et comme fourrage. Grâce à la composition de sa graine et notamment à sa forte teneur en protéines, le lupin blanc est parfaitement adapté aux rations alimentaires du bétail en tant que produit riche en protéines dans des systèmes agricoles intensifs. Le faible taux d'éléments antinutritionnels facilite l'emploi direct du lupin blanc à la ferme dans les systèmes autosuffisants. Puisqu'il peut souvent pousser sur des sols qui ne conviennent pas à d'autres espèces (trop salins, trop lourds, trop acides ou trop pauvres), la mise au point de cultivars adaptés aux conditions de l'Afrique tropicale est fortement recommandée. On a beaucoup à apprendre des excellents résultats obtenus avec *Lupinus angustifolius* en Australie.

Références principales Cowling, Buirchell & Tapia, 1998; Gladstones, Atkins & Hamblin (Editors), 1998; Huyghe, 1997; van Santen et al. (Editors), 2000; Westphal, 1974.

Autres références al-Zaid et al., 1991; Duke, 1981; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Haq, 1993; Hill, 1998; Kay, 1979; López-Bellido & Fuentes, 1997; Thulin, 1989a; UC SAREP, undated; USDA, 2005.

Auteurs P.C.M. Jansen

MACROTYLOMA GEOCARPUM (Harms) Maréchal & Baudet

Protologue Bull. Jard. Bot. Belg. 47(1–2) : 50 (1977).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

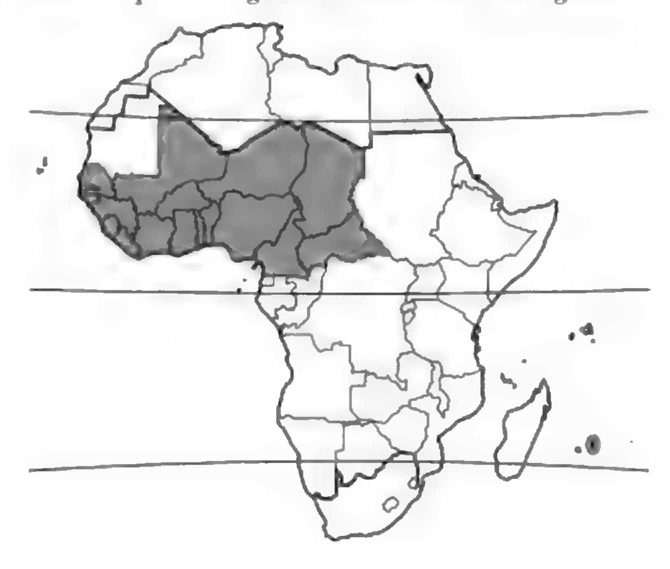
Nombre de chromosomes $2n = 20, 22$

Synonymes *Kerstingiella geocarpa* Harms (1908).

Noms vernaculaires Lentille de terre, fève de Kandale, doï, dohi (Fr). Kersting's groundnut, geocarpa groundnut, ground bean (En).

Origine et répartition géographique L'origine de la lentille de terre est inconnue ; elle pourrait provenir du nord du Togo ou du centre du Bénin. On trouve au Cameroun et en Centrafrique des types de lentille de terre que l'on suppose sauvages, mais on peut considérer qu'ils représentent une espèce distincte, quoique apparentée. La lentille de terre est cultivée dans la zone de savanes de l'Afrique occidentale, du Sénégal au Nigeria et au Cameroun. On la cultive également à l'île Maurice et à Fidji, et elle était cultivée jadis en Tanzanie. On dit souvent que la lentille de terre est seulement cultivée par les personnes âgées, par ex. au Ghana, ce qui fait que sa production disparaît peu à peu.

Usages La lentille de terre est cultivée surtout pour sa graine comestible. Les graines



Macrotyloma geocarpum – sauvage et planté

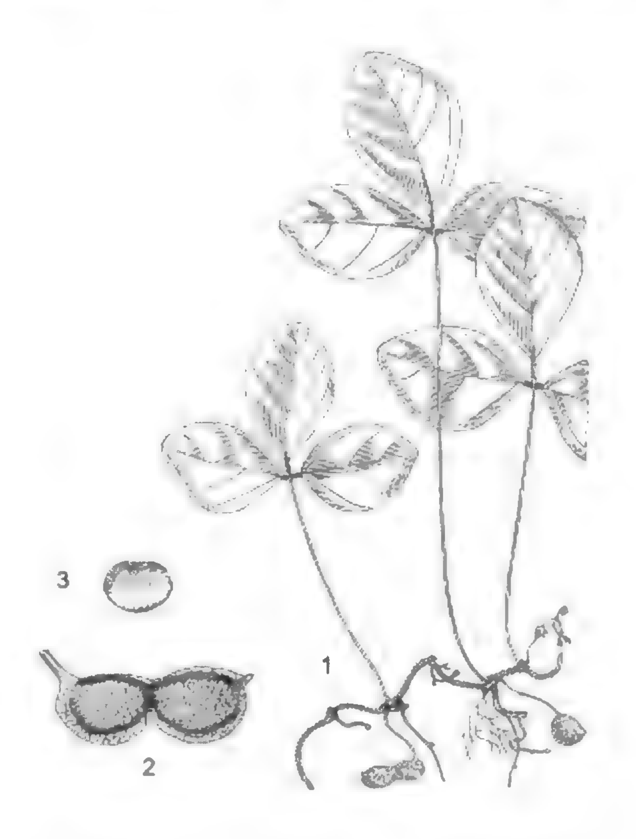
mûres se cuisent à l'eau avec du sel et elles sont consommées avec de l'huile de palme ou d'arachide, et accompagnées de farine de manioc fermentée (le gari), d'igname ou de riz. Elles peuvent aussi être cuites dans des soupes, que l'on sert aux invités comme une marque d'honneur. Les graines sèches sont transformées en une farine qui sert à confectionner des galettes ou d'autres mets. Au centre du Bénin, par exemple, on consomme une pâte frite confectionnée à partir de la graine seule ("ata") ou mélangée à de la pâte de maïs fermentée ("akassa"). Parfois les graines torréfiées des types à graines noires, ou les gousses fraîches non écossées, sont cuites à l'eau avec du sel et consommées en amuse-gueule. Les graines de lentille de terre jouent un rôle important dans les coutumes traditionnelles d'Afrique de l'Ouest, particulièrement au Togo, où on les utilise au cours des cérémonies d'enterrement chez les Kabyés et les Maubas. C'est ce rite qui semble avoir largement contribué à la survie de la culture au nord du Togo. Dans de nombreuses régions, la consommation est limitée aux membres masculins de la famille, en particulier le chef de famille, et les graines constituent un mets favori des prêtres vaudous. Dans la tradition des Sisalas du nord du Ghana, les graines cuites à l'eau sont l'unique nourriture que l'on sert aux enfants survivants pendant les funérailles de leur mère.

Les feuilles de la lentille de terre se consomment parfois comme légume ou en soupe. Au nord du Ghana et au centre du Bénin, l'eau de cuisson des graines se prend contre la diarrhée. Les graines sèches réduites en poudre et mélangées à de l'eau ou à de la bière locale (la "pita") s'emploient comme émétique en cas d'empoisonnement. Les décoctions de feuilles ont une action vermifuge. Les Igbos du Nigeria utilisent la plante dans le traitement de la dysenterie, des maladies vénériennes, de la fièvre et du diabète. Dans les zones arides, les parties végétatives servent de fourrage après la récolte.

Production et commerce international On ne dispose pas de statistiques de production fiables pour la lentille de terre parce que son importance économique est faible et qu'on la cultive surtout pour une consommation locale. Il existe bien des échanges entre pays voisins, comme le Togo, le Bénin et le Nigeria, mais les statistiques sont inexistantes. En raison de la faiblesse de ses rendements et de sa médiocre aptitude au stockage, l'importance économique de la lentille de terre a énormément baissé ces derniers temps.

Propriétés La composition des graines sèches par 100 g de partie comestible est de : eau 9,7 g, énergie 1457 kJ (348 kcal), protéines 19,4 g, lipides 1,1 g, glucides 66,6 g, fibres 5,5 g, Ca 103 mg, P 392 mg, Fe 15,0 mg, thiamine 0,76 mg, riboflavine 0,19 mg, niacine 2,3 mg et acide ascorbique 0 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels par 100 g d'aliment est : tryptophane 155 mg, lysine 1280 mg, méthionine 267 mg, phénylalanine 1125 mg, thréonine 738 mg, valine 1209 mg, leucine 1485 mg et isoleucine 871 mg (FAO, 1970). Les graines de la lentille de terre contiennent des facteurs antinutritionnels, dont des tanins, des hémagglutinines et des phytates. Faire bouillir les graines prétrempées (12 heures à 27°C) pendant 30 minutes en réduit la teneur en tanin de 98%, l'activité hémagglutinante de 100% et le taux de phytates de 70%.

Description Plante herbacée annuelle à tiges prostrées qui s'enracinent ; tige pubescente ou presque glabre, atteignant 10 cm de long. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules triangulaires-ovales, de 2–7 mm de long, pubescentes ; pétiole érigé, atteignant 25 cm de long ; rachis d'environ 7 mm de long ; stipelles linéaires-lancéolées, de 2–5 mm de long ; pétio-



Macrotyloma geocarpum – 1, port de la plante ; 2, fruit ; 3, graine.
Redessiné et adapté par Iskak Syamsudin

lules hirsutes, les latéraux de 1–2 mm de long, le terminal de 4–10 mm de long ; folioles largement ovales ou obovales, de 3–8 cm × 2–5,5 cm, glabres, à 3 nervures partant de la base. Fleurs en paires ou solitaires à l'aisselle des feuilles, bisexuées, papilionacées, presque sessiles ; bractéoles lancéolées, de (1–)3,5–4 mm de long ; calice poilu, tube de 2–2,5 mm de long, lobes linéaires-lancéolés, de (2–)3,5–4 mm de long ; corolle blanche ou blanc verdâtre, parfois teintée de violet, étendard de 6–10 mm × 4,5–6 mm, ailes de 6–7 mm × 1,5 mm, carène de 5,5–6 mm × 1 mm ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, sur un stipe court s'allongeant au cours du développement du fruit, 1-loculaire, style mince, courbe, stigmate minuscule. Fruit : gousse indéhiscente de 0,5–2,5 cm × 0,5–1 cm, sur un carpophore atteignant 2 cm de long, à (1–)2(–3) graines, comprimée entre les graines, mûrissant à la surface du sol ou en dessous. Graines oblongues ou oblongues-ovoïdes, de 5–10 mm × 4–7 mm × 3–5 mm, blanchâtres, rouges, brunes ou noires, parfois striées, tachetées ou mouchetées. Plantule à germination épigée, dont les cotylédons tombent au bout de 2–3 jours après la levée, et à 2–3 feuilles primaires simples et lancéolées qui persistent jusqu'à la maturité.

Autres données botaniques Le genre *Macrotyloma* comprend environ 25 espèces, dont la plupart sont confinées à l'Afrique. Chez *Macrotyloma geocarpum*, 2 variétés ont été distinguées :

- var. *geocarpum* : entrenœuds courts, pétiole de 8–25 cm de long, foliole terminale atteignant 7,5 cm × 5 cm, gousse à (1–)2(–3) graines, graines d'environ 9 mm × 6 mm ; n'est connue que cultivée ;
- var. *tisserantii* (Pellegr.) Maréchal & Baudet : entrenœuds allongés, pétiole atteignant 1 cm de long, foliole terminale atteignant 3,5 cm × 2,5 cm, gousse à 1(–2) graines, graines d'environ 5 mm × 4 mm ; on la rencontre à l'état sauvage au Cameroun et en Centrafrique et peut-être vaut-il mieux la considérer comme une espèce distincte (décrite à l'origine comme *Kerstingiella tisserantii* Pellegr.), si l'on en croit les résultats des analyses d'isozymes et peut-être aussi le nombre de chromosomes.

La distinction des génotypes se fait sur la base de la couleur des graines. Les types à graines blanches, les plus connus, ont un usage alimentaire, tandis que les types à graines noires sont surtout employés comme remèdes ou au cours de cérémonies, ce qui ne les empêche pas de servir aussi d'aliment.

Croissance et développement La germination de la lentille de terre a généralement lieu 3–5 jours après le semis. Les plantules lèvent avec des feuilles primaires simples et opposées ; les premières feuilles trifoliolées apparaissent au bout de 5–10 jours. La floraison débute 30–65 jours après le semis et peut continuer jusqu'à la mort de la plante. L'autofécondation est la règle et 2 jours après la fécondation, un carpophore se forme à la base de l'ovaire et porte ce dernier jusqu'au sol. Ce mécanisme est semblable à ce qui se passe chez l'arachide, mais différent du voandzou où c'est le pédoncule qui pousse jusqu'à atteindre le sol. Les gousses mûrissent à la surface du sol ou 1–2 cm en dessous. Elles atteignent leur maturité entre 40–60 jours après l'ouverture des fleurs. La durée du cycle cultural est de 90–180 jours. La lentille de terre nodule efficacement avec des bactéries fixatrices d'azote du groupe *Bradyrhizobium*.

Ecologie La lentille de terre est présente jusqu'à 1600 m d'altitude. Elle a besoin de soleil en abondance et de températures moyennes de 18–34°C. Elle réussit bien dans les régions semi-arides où les précipitations annuelles sont de 500–600 mm sur 4–5 mois, mais on la trouve également à la limite des régions tropicales humides. La lentille de terre tolère les sols sableux pauvres, mais ce sont les limons sableux qui donnent les meilleurs rendements. On la trouve souvent sur des sols légèrement acides (pH 5).

Multiplication et plantation La lentille de terre se multiplie par graines. Les graines de semence sont prélevées sur la récolte précédente, mais il arrive que les paysans en achètent localement. Le poids de 1000 graines est de 50–150 g. En Afrique de l'Ouest, la lentille de terre se sème du début au milieu de la saison des pluies. Sa culture se pratique surtout dans de petites parcelles ou dans les jardins, soit en culture pure soit en association avec l'igname, le niébé, le manioc ou d'autres plantes, sur buttes, plates-bandes ou billons. S'il s'agit d'une culture pure, c'est souvent la première culture de la rotation, plantée en lignes espacées de 30–40 cm et à 15 cm sur la ligne.

Gestion La culture de la lentille de terre se pratique de manière traditionnelle ; sa conduite consiste essentiellement en 2–3 désherbages manuels. Le recours aux engrais minéraux n'est pas courant.

Maladies et ravageurs Dans les régions semi-arides, la lentille de terre n'est pas sujette

à de graves attaques de la part des maladies ou des ravageurs. Dans les régions humides, des maladies fongiques (rouille, moisissures) peuvent survenir. Les graines stockées sont très sensibles aux infestations de charançons (*Piezotrachelus* spp.) et de bruches (*Bruchidae*).

Récolte La lentille de terre se récolte lorsque les feuilles commencent à jaunir et à se flétrir. La plante étant récoltée au cours de la saison sèche, les paysans arrachent généralement les plantes entières à la houe et les laissent sécher au champ pendant quelques jours, après quoi les gousses sont cueillies à la main, ce qui permet de les séparer aisément. Il arrive souvent qu'il reste des graines dans le sol après la récolte et qu'elles germent au retour des pluies, permettant ainsi à la lentille de terre de persister à l'état semi-sauvage.

Rendements Le rendement de la lentille de terre est en moyenne de 500 kg/ha.

Traitement après récolte Après récolte, les gousses de la lentille de terre sont séchées au soleil, pour ne laisser qu'un taux d'humidité d'environ 12%, puis elles sont entreposées dans des greniers ou n'importe où dans la maison. Elles peuvent être écossées au mortier ou en les frappant au bâton. La plus grande partie de la production est généralement vendue. Les graines sont surtout conservées dans des récipients fermés. Pour assurer une conservation plus longue, on les mélange à du sable, du poivre, de la cendre ou de l'insecticide.

Ressources génétiques Les travaux sur les ressources génétiques de la lentille de terre sont relativement récents, et on ne dispose que de quelques petites collections. Douze entrées recueillies en Afrique occidentale et centrale sont conservées à la banque de gènes de l'Institut international d'agriculture tropicale d'Ibadan (Nigeria). D'autres collections sont présentes en Guinée (Bureau des ressources phytogénétiques de Conakry, 8 entrées), au Ghana (Plant Genetic Resources Centre de Bunso, 8 entrées), au Togo (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières de Lomé, 8 entrées) et au Bénin (Station de recherche sur les cultures vivrières de Niaouli, INRAB, 6 entrées). On sait peu de choses sur la diversité génétique de la lentille de terre. Lors d'une récente étude sur la variation allozymique, aucune diversité n'a été trouvée en intra- ou inter-population chez les types domestiqués, ni en intra- ou inter-population chez les types sauvages, mais la différence entre types sauvages et domestiqués était bien plus importante que celle qu'on a trouvé chez d'autres espèces de légumineuses tropicales.

Sélection On ne connaît l'existence d'aucun programme de sélection pour la lentille de terre.

Perspectives Culture traditionnelle d'Afrique de l'Ouest, la lentille de terre a largement été remplacée par des espèces plus productives et plus rentables, comme l'arachide et le niébé. Les faibles rendements, la petite taille des graines, la quantité de travail nécessaire à sa récolte et sa susceptibilité aux ravageurs des greniers sont les causes principales de son déclin. Si la lentille de terre n'a pas totalement disparu grâce au rôle qu'elle joue dans les cérémonies traditionnelles, le fait qu'elle soit surtout cultivée par les personnes âgées indique que ce déclin va se poursuivre et que les perspectives de cette plante ne sont guère réjouissantes.

Références principales Achigan Dako, Vodouhè & Koukè, 2003; Amuti, 1980; Baudoin & Mergeai, 2001a; Burkill, 1995; Kay, 1979; Maréchal & Baudet, 1977; Mergeai, 1993; Pasquet, Mergeai & Baudoin, 2002; Rehm, 1989; Verdcourt, 1982.

Autres références Berhaut, 1976; Busson, 1965; Dakora & Muofhe, 1997; Duke, 1981; FAO, 1970; Gillett et al., 1971; Goli, 1997; Hepper, 1958; Hepper, 1963; ILDIS, 2002; IPGRI, undated; Irvine, 1969; Leakey & Wills, 1977; Leung, Busson & Jardin, 1968; Obasi, 1997; Purseglove, 1968; Rehm & Espig, 1991; Schuster et al., 1998; Smartt, 1976; Tamini, 1995; Verdcourt, 1980.

Sources de l'illustration Verdcourt, 1982.

Auteurs E.G. Achigan Dako & S.R. Vodouhè

MACROTYLOMA UNIFLORUM (Lam.) Verdc.

Protologue Kew Bull. 24: 322 (1970).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 20, 22, 24$

Synonymes *Dolichos uniflorus* Lam. (1786), *Dolichos biflorus* auct. non L.

Noms vernaculaires Kulthi, grain de cheval (Fr). Horse gram, horse grain, Madras gram (En). Feijoeiro de lagartixa, favalinha, culita (Po).

Origine et répartition géographique Le kulthi est originaire des tropiques de l'Ancien Monde. Il a probablement été domestiqué en Inde, où sa culture est connue depuis la préhistoire. De nos jours, il est cultivé comme légume sec de basse qualité en Asie du Sud, essentiel-

lement de l'Inde au Myanmar. Il est également cultivé comme plante fourragère et comme engrais vert dans de nombreux pays tropicaux, notamment en Australie et en Asie du Sud-Est. En Afrique tropicale, on signale que le kulthi se rencontre sauvage ou naturalisé en Afrique centrale, orientale et australe. Il a également été cultivé comme plante alimentaire et engrais vert dans de nombreux pays d'Afrique tropicale, mais on connaît mal l'étendue de sa culture actuellement.

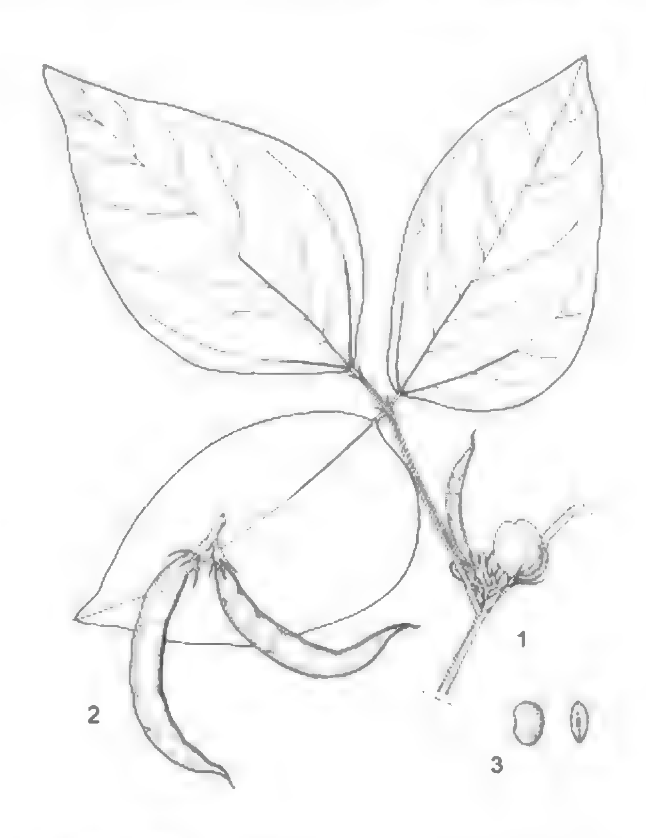
Usages Les graines mûres, entières ou écrasées, sont consommées pochées, bouillies ou frites. Les graines germées sont largement consommées en Inde. Au Myanmar, elles sont bouillies, pilées avec du sel et mises à fermenter, ce qui permet d'obtenir un produit semblable à la sauce de soja.

Les graines servent également à nourrir les chevaux et le bétail, généralement après été bouillies. Les tiges, les feuilles et les cosses sont utilisées comme fourrage. Le kulthi est semé comme engrais vert ou comme plante de couverture. En médecine traditionnelle indienne, les graines sont employées comme diurétique, astringent et tonique.

Propriétés La composition de graines entières par 100 g de partie comestible est la suivante : eau 9,7 g, énergie 1394 kJ (333 kcal), protéines 22,5 g, lipides 1,0 g, glucides 60,5 g et fibres 4,7 g (Leung, Busson & Jardin, 1968). Elles contiennent des composés antinutritionnels tels que des lectines, des inhibiteurs de trypsine, des phytates, des tanins et de l'acide oxalique.

Les graines ont montré une activité antihépatotoxique in vivo chez les rats. Les lipides des graines ont montré une activité protectrice et cicatrisante in vivo en cas d'ulcère gastroduodénal lors d'essais sur les rats. Des extraits de graines ont révélé une activité antilithiasique in vitro.

Botanique Plante herbacée grimpante à tiges atteignant 60 cm de haut, et à rhizome fibreux vivace ; tige annuelle, légèrement à densément recouverte de poils étalés ou couchés de couleur blanchâtre. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules lancéolées, de 4–10 mm de long, striées ; pétiole de 1–7 cm de long, rachis de 2,5–10 mm de long ; pétiolules de 1–2 mm de long ; folioles ovales-rhombiques, obovales ou elliptiques, de 1–7(–8) cm × 1–4(–8) cm, apex arrondi à aigu, base arrondie, folioles latérales asymétriques, poilues à glabrescentes sur les deux faces. Inflorescence : fascicule axillaire à (1–)2–3(–5) fleurs ; bractées jusqu'à 3 mm de long. Fleurs



Macrotyloma uniflorum – 1, partie d'un rameau avec inflorescence et jeune fruit ; 2, fruits ; 3, graines.
Source: PROSEA

bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 1–7 mm de long ; calice pubescent, tube de 2 mm de long, lobes triangulaires-lancéolés, de 3–8 mm de long, longuement acuminés, la paire supérieure entièrement soudée ; corolle à étendard crème, jaune ou jaune verdâtre, souvent avec une petite tache violette à l'intérieur, obovale-oblongue, de 6–12 mm × 4–7 mm, ailes et carène jaune verdâtre, de 5–10 mm de long ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, stipité, 1-loculaire. Fruit : gousse linéaire-oblongue de 3–8 cm × 4–8 mm, recourbée vers l'apex, acuminée, densément poilue lorsque jeune, beaucoup moins plus tard, bords glabres, lisse ou verruqueuse, déhiscente, renfermant 5–10 graines. Graines trapézoïdales, oblongues ou arrondies-réniformes, de 3–8 mm × 3–5 mm, brun rougeâtre clair à foncé, tachetées ou mouchetées de noir et d'orange-brun ou entièrement noires.

Le genre *Macrotyloma* comprend environ 25 espèces, la plupart ayant une aire limitée à l'Afrique.

A l'intérieur de *Macrotyloma uniflorum*, on distingue 4 variétés :

– var. *uniflorum* : gousses de 6–8 mm de large ; sauvage en Asie du Sud et en Namibie, lar-

gement cultivée sous les tropiques comme plante de couverture et fourragère ;
- var. *stenocarpum* (Brenan) Verdc. : gousses de 4–5,5 mm de large, brièvement stipitées et à bords plus ou moins lisses, folioles pubescentes : présente en Afrique centrale, orientale et australe ainsi qu'en Inde, jusqu'à 1700 m d'altitude dans les savanes herbeuses, la brousse et les fourrés, souvent sur sols sableux et en milieux perturbés ; cultivée en Australie et en Californie (Etats-Unis) ;
- var. *verrucosum* Verdc. : gousses de 4–5,5 mm de large, nettement stipitées et à bords vaguement à nettement verruqueux, folioles pubescentes ; présente en Afrique orientale et australe jusqu'à 550 m d'altitude dans les savanes herbeuses et les fourrés ;
- var. *benadirianum* (Chiov.) Verdc. : gousses de 4–5,5 mm de large, brièvement stipitées et à bords légèrement verruqueux, folioles densément veloutées ; présente en Afrique de l'Est (Somalie, Kenya) au niveau de la mer, sur les dunes et les sols superficiels de calcaire corallien.

Le kulthi est autogame. Son cycle total de culture est généralement de 4–6 mois. Il nodule efficacement avec des bactéries fixatrices d'azote du groupe *Bradyrhizobium*.

Ecologie Le kulthi nécessite une température moyenne de 20–30°C et ne tolère pas le gel. Il est résistant à la sécheresse et peut être cultivé même si les précipitations n'excèdent pas 380 mm. Il est généralement cultivé dans des zones où les précipitations annuelles n'atteignent pas 900 mm. Dans les zones où les précipitations sont supérieures, il est cultivé sur l'humidité résiduelle en saison sèche, par ex. après une culture de riz. La plupart des cultivars de kulthi sont des plantes de jours courts.

Il pousse sur une large gamme de sols à pH de 5–7,5, y compris des sols pauvres. Il ne tolère pas l'asphyxie racinaire.

Gestion Le kulthi se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 15–50 g. Il est semé à la volée ou en lignes à un espacement de 20–90 cm, selon une densité de semis de 20–45 kg/ha. La profondeur de semis est de 1–2,5 cm. En Inde, le kulthi est généralement cultivé en culture pure, mais il est parfois associé, par ex. à de l'éleusine, du maïs, du pois chiche, de l'arachide ou du ricin. Les principales maladies qui affectent le kulthi en Inde sont le virus de la mosaïque jaune du kulthi (HgYMV), l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), les taches foliaires (*Cercospora dolichi*, synonyme : *Mycosphaerella cruenta*), la rouille (*Uromyces appendiculatum*), la pourriture des racines (*Pellicularia filamentosa*, synonyme : *Thanatephorus cucumeris*) et la pourriture charbonneuse (*Macrophomina phaseolina*). Parmi les ravageurs signalés, on trouve la chenille d'une noctuelle (*Azazia rubricans*, synonyme : *Anticarsia irrorata*) et celle de la pyrale du haricot (*Etiella zinckenella*). Lorsqu'il est cultivé pour ses graines, le kulthi est récolté quand ses gousses commencent à se dessécher et ses feuilles à sécher puis à tomber. Les plantes sont coupées ou arrachées, mises en meules, et séchées au soleil pendant une semaine, après quoi elles sont battues au bâton, à l'aide de cylindres de pierre ou de bœufs. Les rendements en graines sont habituellement bas (150–350 kg/ha en Inde) mais des rendements bien meilleurs ont été obtenus avec des cultivars améliorés (900 kg/ha en Inde, 1100–2200 kg/ha en Australie). Lors d'essais au Nigeria au début des années 1990, des rendements de 700–1000 kg/ha avaient été obtenus. Lorsqu'il est cultivé pour le fourrage, le kulthi peut être récolté 6 semaines environ après le semis. Les rendements en fourrage s'élèvent à 4–15 t de matière sèche par ha.

Ressources génétiques et sélection Des collections de ressources génétiques de kulthi sont détenues en Australie (Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre, Biloela, Queensland, 38 entrées) et au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu, 21 entrées). Le kulthi cultivé est généralement un mélange de plusieurs variétés locales ayant des couleurs de graines ainsi que des cycles de culture différents.

Les activités de sélection sont axées sur le potentiel de rendement, la résistance aux maladies et l'insensibilité à la longueur du jour. Des cultivars améliorés ont été obtenus et sont commercialisés en Inde ; en Australie, un cultivar à gousses indéhiscentes, apprécié comme fourrage et aliment du bétail, s'appelle 'Leichhardt'. La régénération in vitro a été effectuée par organogenèse directe à partir de méristèmes apicaux et d'explants de nœuds cotylédonaires, et aussi par embryogenèse somatique au moyen de suspensions cellulaires de cals induits sur des explants de feuilles.

Perspectives On ne sait pas exactement dans quelle mesure le kulthi est actuellement cultivé en Afrique tropicale, ni avec quelle fréquence il est consommé en tant que légume sec ou bien utilisé à d'autres fins. Il semble que ce

soit une culture intéressante pour les régions sèches d'Afrique tropicale, mais il faut disposer de plus d'informations sur les caractéristiques nutritionnelles de la graine et savoir si son goût serait acceptable pour le consommateur africain.

Références principales Gillett et al., 1971; Jansen, 1989c; Kay, 1979; Varisai Mohamed et al., 2004; Verdcourt, 1982.

Autres références Garimella, Jolly & Narayanan, 2001; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; ICRISAT, undated; Jayaraj et al., 2000; Laskar et al., 1998; Leung, Busson & Jardin, 1968; Mackinder et al., 2001; Omokanye, 1996; Purseglove, 1968; Sudha et al., 1995.

Sources de l'illustration Jansen, 1989c.

Auteurs M. Brink

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

MUCUNA GIGANTEA (Willd.) DC.

Protologue Prodr. 2: 405 (1825).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Synonymes *Mucuna quadrialata* Baker (1871), *Mucuna longipedicellata* Hauman (1955).

Noms vernaculaires Liane cadoque, liane caiman, mort aux rats (Fr). Sea bean, burny bean (En). Mtera (Sw).

Origine et répartition géographique *Mucuna gigantea* est réparti en Asie tropicale, au Japon, en Australie, dans les îles du Pacifique et en Afrique. En Afrique tropicale, il est présent depuis la R.D. du Congo jusqu'au Kenya, en Tanzanie et au Mozambique, ainsi qu'à Madagascar et sur d'autres îles de l'océan Indien.

Usages Au Kenya, les graines de *Mucuna gigantea* sont réputées comestibles. En Inde, les graines cuites à l'eau sont parfois consommées comme légume sec, par ex. dans les îles Andaman. Les aborigènes d'Australie réchauffaient autrefois les graines sur des pierres ou du sable chauds, en enlevaient le tégument et les réduisaient en farine, et celle-ci était ensuite mélangée avec de l'eau, enveloppée dans des feuilles et rôtie.

Des décoctions de racine de *Mucuna gigantea* sont prises pour traiter la blennorragie et la schistosomiase. En Inde, l'écorce est appliquée en externe pour traiter les rhumatismes. Les graines réduites en poudre sont utilisées comme purgatif à Hawaï. Les poils irritants à l'extérieur des gousses seraient utilisés pour les empoisonnements criminels en Malaisie. Au Vietnam, ils sont mélangés avec de la nourriture pour se débarrasser des rats.

Propriétés Les graines de *Mucuna gigantea* contiennent 1.7–2% de L-dopa (lévodopa : L-3,4-dihydroxyphénylalanine), acide aminé qui stimule la formation de dopamine, un neurotransmetteur, dans le cerveau. La dopamine réduit le tremblement observé dans la maladie de Parkinson. Cependant, les opinions sont partagées quant aux effets secondaires et l'efficacité à long terme de la L-dopa. A cause de la présence de composés toxiques dans la plante, il semble recommandé de consommer les graines seulement après trempage et cuisson prolongés.

Botanique Grande liane atteignant 30(–80) m de long ; tiges initialement couvertes de poils rigides orange-brun, glabrescentes. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules de 3–5 mm × 1 mm, caduques ; pétiole de 4–15 cm de long, rachis de 1,5–3,5(–8) cm de long ; stipelles en aiguille, de 2–3 mm de long, persistantes ; pétiolules d'environ 5 mm de long ; folioles ovales ou elliptiques, de 4–15 cm × 2–9 cm, les latérales obliques, acuminées et nettement apiculées à l'apex, arrondies à la base, à poils couchés clairsemés lorsque jeunes, rapidement glabrescentes. Inflorescence : fausse ombelle axillaire pendante, de 10–35 cm de long, à fleurs sur de courts rameaux latéraux de 5–10 mm de long ; pédoncule de 4–22(–30) cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 1–2,5 cm de long ; calice en coupe, de 10–13 mm de long, 2-labié, couvert de fins poils gris et de longs poils rigides caducs orange-brun, tube de 7–11 mm de long, lobes de 2–3 mm de long, lèvre supérieure un peu émarginée ; corolle vert crème pâle, blanche ou lilas pâle, étendard de (2–)2,5–3,5 cm × (1,5–)2–2,5 cm, arrondi, à poils rigides orange-brun épars, ailes et carène de (3–)3,5–4,5 cm de long ; étamines 10, dont 9 réunies et 1 libre ; ovaire supère, 1-loculaire, style long, filiforme, stigmate petit et terminal. Fruit : gousse stipitée, oblongue ou oblongue-elliptique, de 7–15 cm × 3–5,5(–6,5) cm × 1–2 cm, à chaque bord muni de 2 ailes, densément couverte de poils rigides orange-brun au début, devenant glabre à maturité, à 1–4(–6) graines. Graines de 2,5–3 cm × 2–3 cm × 1–1,5 cm, discoïdes, brun foncé ou densément marbrées de brun rouille ou de noir, lisses, hile s'étendant sur environ trois-quarts de la circonférence de la graine. Plantule à germination hypogée ; premières feuilles écailleuses ou simples.

Le genre *Mucuna* appartient à la tribu des *Phaseoleae* et comprend environ 100 espèces à

répartition pantropicale. En Afrique tropicale, environ 10 espèces sont présentes. Plusieurs sous-espèces ont été distinguées au sein de *Mucuna gigantea*, dont subsp. *quadrialata* (Baker) Verdc. en Afrique. Cependant, *Mucuna gigantea* est très variable sur toute son aire de répartition et il ne semble pas possible de retenir subsp. *quadrialata*.
La croissance initiale de *Mucuna gigantea* est rapide : les jeunes plantes peuvent atteindre une hauteur de plus de 1 m en 3 semaines. A Madagascar, il fleurit pendant la saison sèche. Les fleurs sont très visitées par les colibris. Les graines sont disséminées par les courants marins. Toutes les parties vertes de la plante, dont les fleurs, deviennent noires lorsqu'elles sont froissées ou séchées.

Ecologie *Mucuna gigantea* est surtout une espèce littorale que l'on trouve autour de l'océan Indien, mais en Afrique tropicale il est également présent à l'intérieur des terres. On le trouve dans le maquis côtier, au bord des cours d'eau, et à proximité de l'eau dans les savanes boisées et en lisière de forêts, jusqu'à 1800 m d'altitude.

Gestion *Mucuna gigantea* se récolte dans la nature. La présence de poils rigides très irritants rend la manipulation difficile.

Ressources génétiques et sélection Une entrée provenant du Kenya est conservée au National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu. Etant donné l'étendue de sa répartition, *Mucuna gigantea* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives Les composés toxiques dans les graines, nécessitant une longue cuisson, et la présence de poils irritants sur les gousses rendent improbable que *Mucuna gigantea* devienne une culture vivrière plus importante.

Références principales Beentje, 1994; Dahal & van Valkenburg, 2003; Dick, 1994; du Puy et al., 2002; Gillett et al., 1971.

Autres références Eilittä et al., 2002; Friedmann, 1994; ILDIS, 2002; Mackinder et al., 2001; Neuwinger, 2000; Polhill, 1990; Rajaram & Janardhanan, 1991; Wilmot-Dear, 1984; Wilmot-Dear, 1991; Wilmot-Dear, 1992.

Auteurs M. Brink

ORYZA BARTHII A.Chev.

Protologue Bull. Mus. natn. Hist. nat., Paris 16: 405 (1911).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 24$

Synonymes *Oryza breviligulata* A.Chev. & Roehr. (1914), *Oryza stapfii* Roshev. (1931).

Noms vernaculaires Riz sauvage annuel, riz de marais, riz sauvage (Fr). Wild rice, self-sown rice, Mandinka rice (En).

Origine et répartition géographique *Oryza barthii* est réparti en Afrique tropicale depuis la Mauritanie jusqu'à l'Ethiopie, et vers le sud jusqu'au Botswana et au Zimbabwe.

Usages Les grains d'*Oryza barthii* sont parfois récoltés si les plantes sont disponibles en quantité suffisante, et ils servent d'aliment en cas de famine. Ils sont parfois vendus sur les marchés. Toutefois, *Oryza barthii* est essentiellement considéré comme une adventice. Avant la floraison, la plante fournit une excellente pâture au bétail ; après, les arêtes peuvent le blesser à la bouche.

Propriétés Le grain d'*Oryza barthii* a bon goût.

Botanique Graminée annuelle jusqu'à 150 cm de haut, poussant en touffes ; tige (chaume) érigée ou géniculée ascendante, formant des racines sur les nœuds inférieurs, spongieuse, striée, glabre. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine striée, lisse ; ligule de 2–6(–9) mm de long, tronquée ou arrondie ; limbe linéaire, de 15–45 cm × 0,5–1,5 cm, aigu à l'apex, vert intense, glabre, lisse sur la face inférieure, légèrement rugueux sur la face supérieure. Inflorescence : panicule terminale de 20–35 cm × 3–7,5 cm, plutôt dense, érigée ou plus rarement un peu inclinée, à rameaux érigés ou obliquement ascendants. Epillet oblong à étroitement oblong, de 7–11 mm de long (sans l'arête), caduc, vert pâle à jaune paille, comportant 3 fleurs mais les 2 fleurs inférieures réduites à des lemmes stériles de 2,5–4,5 mm de long ; glumes réduites à un rebord 2-lobé ; lemme de la fleur fertile légèrement plus courte que l'épillet, carénée, coriace, poilue, à 2 rainures latérales longitudinales, avec une arête rigide rose à violette de (4–)8–16(–19) cm de long ; paléole quasiment aussi longue que la lemme mais beaucoup plus étroite, avec l'apex se prolongeant en une courte pointe obtuse ; lodicules 2 ; étamines 6 ; ovaire supère, avec 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain).
Le genre *Oryza* comprend environ 20 espèces sauvages réparties dans toutes les régions tro-

picales et subtropicales, et 2 espèces cultivées, *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud. *Oryza barthii* est classé dans la série *Sativae*, avec *Oryza sativa*, *Oryza glaberrima* et *Oryza longistaminata* A.Chev. & Roehr.
Oryza barthii est principalement autogame, avec un taux d'allogamie de 5–20%.

Ecologie *Oryza barthii* pousse en eau peu profonde, dans les étangs et les marécages, et comme adventice dans les rizières, jusqu'à 1500 m d'altitude. Il peut former des peuplements purs, mais en général on le trouve disséminé au milieu d'autres graminées aquatiques. Il peut devenir une adventice nuisible et jouer le rôle de réservoir pour d'importantes maladies et ravageurs du riz. *Oryza barthii* est une plante de jours courts.

Gestion *Oryza barthii* n'est pas normalement cultivé, mais ses grains sont ramassés dans la nature. Les grains s'égrènent très facilement, et les panicules sont généralement récoltées avant leur maturité. A maturité, elles sont ramassées au-dessus d'un panier ou d'une calebasse afin de recueillir les grains qui en tombent.

Ressources génétiques et sélection *Oryza barthii* présente une variation génétique relativement faible. Il est considéré comme une source de résistance à diverses maladies affectant *Oryza sativa*, notamment la bactériose des feuilles (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*), le virus de la marbrure jaune du riz (RYMV) et le rhizoctone (*Thanatephorus cucumeris*, anamorphe : *Rhizoctonia solani*).

Perspectives Même si *Oryza barthii* peut servir d'aliment de secours lors des disettes, il est probablement davantage considéré comme une adventice d'*Oryza sativa* que comme une plante alimentaire de valeur, et il n'y a pas de justification pour sa promotion. Le principal potentiel d'*Oryza barthii* réside probablement dans sa résistance à plusieurs maladies qui touchent *Oryza sativa*.

Références principales Burkill, 1994; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Launert, 1971; National Research Council, 1996; Smith & Dilday, 2003.

Autres références Abo, Sy & Alegbejo, 1998; Akromah, 1987; Clayton, 1970; Clayton, 1972; Engels, Hawkes & Worede (Editors), 1991; Gibbs Russell et al., 1990; Kaushal & Ravi, 1998; Lu, 1999; Phillips, 1995; Vaughan & Chang, 1992.

Auteurs M. Brink

ORYZA GLABERRIMA Steud.

Protologue Syn. pl. glumac. 1(1) : 3 (1853).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 24$
Noms vernaculaires Riz africain, riz de Casamance (Fr). African rice, red rice (En).

Origine et répartition géographique *Oryza glaberrima* est dérivé de l'espèce annuelle sauvage *Oryza barthii* A.Chev. (synonyme : *Oryza breviligulata* A.Chev. & Roehr.). *Oryza barthii* poussait probablement abondamment dans les lacs qui existaient vers 8000–4000 avant J.-C. dans la région qui est maintenant le Sahara, et il était récolté comme céréale sauvage. Lorsque le climat est devenu plus sec, *Oryza glaberrima*, qui a évolué progressivement à partir d'*Oryza barthii* (probablement vers 1500 avant J.-C. ou plus tard), a été cultivé comme culture pluviale dans les jardins de case des oasis. Lorsque la population s'est réfugiée dans le delta intérieur du fleuve Niger (vers 1500 avant J.-C.) et a fortement augmenté, *Oryza glaberrima* s'est transformé pour devenir le riz flottant qui est actuellement cultivé.
Le riz africain est aujourd'hui cultivé dans une zone qui s'étend depuis le delta du fleuve Sénégal jusqu'au lac Tchad. Son aire de répartition est limitée au sud-est par les bassins de la Bénoué, du Logone et du Chari, mais on l'a aussi observé sur les îles de Pemba et Zanzibar (Tanzanie). Les régions où le riz africain est cultivé le plus intensément sont les plaines inondables du nord du Nigeria, le delta intérieur du Niger au Mali, certaines régions de Sierra Leone, et les collines situées à la frontière entre le Ghana et le Togo. C'est probablement à l'époque de la traite des esclaves que



Oryza glaberrima – planté

le riz africain a été introduit dans le Nouveau Monde, où il reste parfois cultivé, par ex. au Brésil, au Guyana, en El Salvador et au Panama.

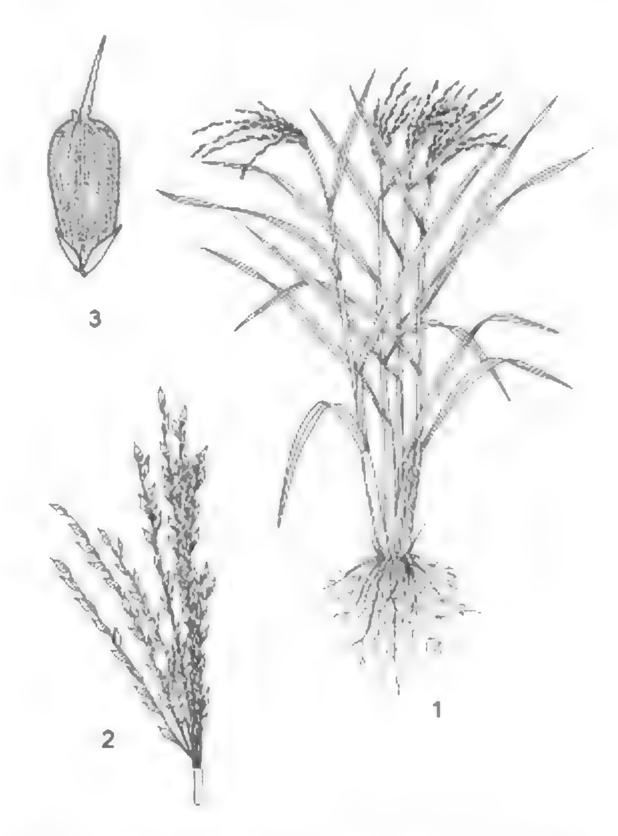
Usages Dans certaines parties de l'Afrique de l'Ouest, le grain du riz africain est un aliment de base, très apprécié pour son goût et ses qualités culinaires. On l'utilise aussi dans les cérémonies traditionnelles et rituelles, par ex. dans la région de Casamance au sud du Sénégal. Les plus fines parties du son et des brisures sont données en nourriture aux volailles et autre bétail. En Centrafrique, la racine est consommée crue pour soigner la diarrhée.

Production et commerce international Les statistiques sur la production de riz en Afrique de l'Ouest ne font pas de distinction entre le riz africain et le riz asiatique (*Oryza sativa* L.). On estime que le riz africain représente moins de 20% de la superficie totale de riz en Afrique de l'Ouest. Comme ce riz est une céréale alimentaire traditionnelle, il n'est pas commercialisé à l'échelle internationale, mais seulement dans la région de production.

Propriétés La composition du grain entier de riz africain (décortiqué) par 100 g de partie comestible est de : eau 11,3 g, énergie 1524 kJ (364 kcal), protéines 7,4 g, lipides 2,2 g, glucides 77,7 g, fibres 0,4 g, Ca 38 mg, P 294 mg, Fe 2,8 mg, thiamine 0,34 mg et niacine 6,5 mg. Le riz africain blanchi contient par 100 g de partie comestible : eau 11,4 g, énergie 1532 kJ (366 kcal), protéines 6,3 g, lipides 0,3 g, glucides 81,6 g, fibres 0,2 g, Ca 22 mg, P 98 mg, Fe 1,7 mg, thiamine 0,06 mg, niacine 2,0 mg et tryptophane 110 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). Le riz africain est supérieur au riz asiatique pour sa teneur en thiamine, qui est une vitamine importante, et en fer. Le degré de gélatinisation dépend de la teneur en amylose, qui varie dans une fourchette de 14–30%, et influe sur la consistance du riz lors de la cuisson et donc sur le choix du consommateur. La plupart des cultivars de riz africain ont un grain rouge et certains sont fortement parfumés.

Falsifications et succédanés Dans la plupart des régions de l'Afrique de l'Ouest, au moins en agriculture commerciale, le riz africain a été remplacé par le riz asiatique, qui est plus productif, s'égrène moins facilement et a un grain plus mou et plus facile à blanchir. Les petits paysans en Afrique de l'Ouest préfèrent toutefois souvent cultiver le riz africain pour son goût et ses qualités culinaires, sa tolérance à l'inondation et sa résistance à plusieurs maladies et ravageurs.

Description Graminée annuelle jusqu'à 120 cm de haut (jusqu'à 5 m pour certains types flottants), souvent en touffe ; les types pluviaux avec chaume simple formant souvent des racines sur les nœuds inférieurs, les types flottants souvent ramifiés et formant également des racines sur les nœuds supérieurs. Feuilles alternes, simples ; gaine cylindrique, jusqu'à 25 cm de long, avec des nervilles transversales ; ligule d'environ 4 mm de long, tronquée, membraneuse ; limbe linéaire, plat, de 20–25(–30) cm × 6–9 mm, sagitté à la base, rugueux en dessous. Inflorescence : panicule terminale, ellipsoïde, raide et compacte, jusqu'à 25 cm de long, avec des branches racémeuses ascendantes. Epillets ellipsoïdes, d'environ 9 mm × 4 mm, plus ou moins persistants, comportant 3 fleurs mais les 2 fleurs inférieures réduites à des lemmes stériles séparées de la lemme de la fleur supérieure fertile bisexuée par un stipe ; glumes absentes ou fortement rudimentaires ; lemme hispiduleuse, 5-nervée, généralement sans arête apicale ; paléole 3-nervée ; lodicules 2 ; anthères 6 ; ovaire supère, avec 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) comprimé latéralement, jusqu'à 9 mm × 3 mm, souvent rougeâtre, bien enveloppé par la lemme et la



Oryza glaberrima – 1, port de la plante ; 2, inflorescence ; 3, épillet.
Redessiné et adapté par W. Wessel-Brand

paléole.

Autres données botaniques Le genre *Oryza* comprend environ 20 espèces sauvages réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, et 2 espèces cultivées, *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*. Plusieurs classifications d'*Oryza* ont été réalisées. Le genre a récemment été divisé en 3 sections : sect. *Padia*, sect. *Brachyantha* et sect. *Oryza*. La section *Oryza* est subdivisée en 3 séries : ser. *Latifoliae*, ser. *Australiensis* et ser. *Sativae*. *Oryza glaberrima*, son ancêtre direct *Oryza barthii* A.Chev. et l'espèce rhizomateuse vivace *Oryza longistaminata* A.Chev. & Roehr. sont classés dans la ser. *Sativae*, avec *Oryza sativa*. Sur le plan morphologique, *Oryza glaberrima* se distingue d'*Oryza sativa* par sa ligule plus courte et sa panicule moins ramifiée.

Croissance et développement Les plantules du riz africain lèvent généralement en 4–5 jours après le semis. La phase végétative de la plante est composée d'une phase juvénile d'environ 3 semaines suivie par une phase de tallage de 3–4 semaines. La croissance végétative est rapide. Le tallage, un indice de surface foliaire élevé et une surface foliaire spécifique élevée contribuent à sa compétitivité contre les mauvaises herbes. Toutefois, les chaumes ont tendance à être faibles et fragiles, rendant le riz africain sensible à la verse. Le riz africain est autogame. Le cycle de culture varie de 3–6 mois selon le cultivar et le type de culture. Certains cultivars sélectionnés pour les conditions pluviales ont des cycles de culture très courts, plus courts que les cultivars d'*Oryza sativa*. Les cultivars adaptés aux eaux profondes tolèrent une immersion jusqu'à 2,5 m de profondeur et leurs chaumes peuvent atteindre 5 m de long. Beaucoup de cultivars présentent un certain égrenage.

Ecologie Le riz africain pousse bien audessus de 30°C, mais au-dessus de 35°C, la fertilité des épillets diminue considérablement. Les températures inférieures à 25°C réduisent la croissance et le rendement ; les températures inférieures à 20°C font de même, mais de manière plus importante. On cultive le riz africain depuis le niveau de la mer jusqu'à 1700 m d'altitude. Il est généralement une plante de jours courts, mais la photosensibilité varie selon les cultivars, depuis des plantes non sensibles jusqu'à des plantes très sensibles. Le riz africain est cultivé sur une large gamme de sols. Bien qu'il préfère des sols alluviaux fertiles, il tolère des sols peu fertiles. Certains cultivars peuvent donner des rendements plus élevés que le riz asiatique sur des sols alcalins et déficitaires en phosphore. Ils sont aussi souvent plus tolérants à la toxicité ferrique. Le riz flottant est planté sur des sols limoneux ou argileux.

Multiplication et plantation Le riz africain se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 20–27 g. La dormance des graines disparaît quelques mois après la maturité ; à des fins expérimentales, on peut lever la dormance en retirant la lemme et la paléole et environ un tiers de l'albumen, permettant la germination en 2–3 jours. Avant le semis, le sol peut être préparé à la houe ou, comme au Sénégal, en Gambie et en Guinée, avec une bêche à longue manche, mais on pratique rarement un travail du sol. Le semis est généralement réalisé à la volée et le repiquage est rare. Pour le riz flottant, la densité de semis est élevée sur un sol fraîchement désherbé et ayant été ou non labouré ou ameubli à la houe. Les cultivars sont choisis en fonction de la durée d'inondation prévue et ont en général une durée de croissance de 4–6 mois.

En Afrique de l'Ouest, depuis le Sénégal jusqu'au nord du Cameroun, où les précipitations excèdent généralement 1000 mm/an, le riz africain est principalement cultivé comme culture pluviale, qui dépend uniquement de la pluie et des eaux de ruissellement. Dans certaines régions, on emploie des cultivars à cycle court qui sont adaptés à des précipitations annuelles d'à peine 700 mm. En Sénégambie, on le sème sur des endroits humides, souvent sous des palmiers, après un simple travail du sol. On l'appelle localement "riz de plateau". Le "riz de montagne" est cultivé dans toute la zone forestière couvrant l'ouest de la Côte d'Ivoire, le Liberia, le Fouta Djallon et les montagnes de l'est de la Guinée. Il est cultivé en culture itinérante, souvent après une exploitation forestière, et même sur des pentes escarpées. La végétation de sous-étage est coupée et les champs sont brûlés à la fin de la saison sèche. Le semis est le plus souvent pratiqué sans aucun travail du sol. Le riz est cultivé seul ou en association avec d'autres cultures, par ex. le maïs. Après 2–3 ans, le champ est utilisé pour des cultures de rente comme le cacao ou le café, ou laissé en jachère. Les paysans y retournent après 10–20 ans ou plus, selon le degré de reconstitution de la végétation et du sol. Dans de tels champs, des cultivars à cycle très court sont semés et le riz africain n'est que rarement remplacé par le riz asiatique, par ex. dans la zone forestière de Guinée et de l'ouest de la

Côte d'Ivoire.
Les systèmes de riz irrigué dépendent plus de l'eau des rivières que des précipitations et on les trouve dans des régions avec un climat beaucoup plus sec ; le degré de contrôle de l'irrigation est variable. On rencontre le riz de décrue sur des sols hydromorphes en Guinée, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Burkina Faso et au Nigeria. Les cultivars flottants sont très courants dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali, et sont aussi cultivés au Sénégal, en Gambie, au Niger et au Nigeria. Il pousse parfois très rapidement en longueur lorsque le niveau de l'eau monte, tolérant une submersion de plusieurs jours. Les cultivars utilisés ont un cycle de 4–5 mois.
Le long des rivières au nord du Sénégal et au Mali, dans la partie nord du delta intérieur du fleuve Niger au sud-ouest de Tombouctou, dans une zone allant de Diré et Goundam jusqu'à la série de lacs Faguibine, Gouber et Kamango, le riz est cultivé dans des plaines inondables après la décrue. Dans ce système de culture, le riz est semé sur un sol humide et le développement de la culture dépend de l'eau du sol ("riz de décrue"). Les mauvaises herbes sont peu nombreuses. On y cultive aussi bien *Oryza glaberrima* qu'*Oryza sativa*, avec un cycle de 4–5 mois. Le long de la côte atlantique, par ex. en Sierra Leone, le riz africain est cultivé dans des mangroves.

Gestion Le désherbage du riz africain dans les aires non inondées se fait manuellement et souvent tardivement. Dans certaines régions, comme la Basse Casamance, la lutte contre les mauvaises herbes est combinée avec la préparation du sol : une première irrigation légère favorise la germination des mauvaises herbes qui peuvent ensuite être éradiquées. La mécanisation et l'application d'engrais sont rarement pratiquées. Pour les cultures de riz de décrue et de riz irrigué, on ne pratique ni la rotation ni la jachère, contrairement à ce qui se fait pour le riz pluvial.

Maladies et ravageurs La maladie la plus importante et la plus répandue du riz africain est la piriculariose (*Pyricularia grisea* ; synonymes : *Magnaporthe grisea*, *Pyricularia oryzae*). Le virus de la marbrure jaune du riz (RYMV) et des parasites du sol (nématodes) causent souvent des pertes importantes. Il existe peu de mesures de lutte, mais certains cultivars sont résistants à de tels pathogènes. En culture irriguée ou inondée, le problème principal vient des poissons rhizophages (*Distichodus*, *Tilapia*), alors que les oiseaux causent de gros dégâts à toutes les cultures de riz. Les enfants armés de cailloux et de frondes protègent un peu les cultures. Les rongeurs, les buffles, les éléphants et les hippopotames peuvent également causer des dommages importants. La cécidomyie africaine (*Orseolia oryziphora*), les grillons et les sauterelles sont aussi des ravageurs importants, tout comme les foreurs de tiges qui détruisent l'apex des plantes et empêchent ainsi la formation des inflorescences.
Le riz sauvage annuel *(Oryza barthii)* est très commun dans les champs de riz irrigué. On peut le reconnaître à ses arêtes rouges, mais il est alors trop tard pour l'enlever. Il est caractérisé par un très fort égrenage, et comme il mûrit souvent avant le riz cultivé, il se multiplie et se disperse dans tout le champ. Il est parfois récolté avec le riz cultivé. Si les graines ne sont pas triées correctement, le riz sauvage infeste le champ en quelques années. Le riz sauvage annuel se croise aisément avec *Oryza glaberrima* ; les grains rouges qui en résultent s'égrènent plus facilement et doivent être davantage blanchis, ce qui entraine une perte de poids et des coûts plus élevés. En condition d'inondation profonde, le riz sauvage vivace (*Oryza longistaminata*) est coupé sous la surface de l'eau afin de l'asphyxier.

Récolte La période de récolte du riz africain s'étale d'octobre à décembre. Le riz pluvial est récolté en premier. Les panicules sont mises en bouquets et empilées dans des greniers surélevés en dessous desquels on entretient un feu dont la fumée éloigne les insectes. Après un battage manuel ou mécanique, le grain peut être stocké en vrac dans des sacs. Le riz flottant est récolté en plusieurs fois, le plus souvent en pirogue, ce qui provoque des pertes considérables.

Rendements Le rendement du riz africain obtenu en conditions traditionnelles atteint rarement plus de 1 t/ha. Des essais avec des cultivars d'eau profonde menés à Gao et à Tombouctou (Mali) en 1984–1987 ont donné des rendements de 1–4 t/ha.

Traitement après récolte Le produit du riz africain, qu'il soit stocké avant ou après battage, doit être protégé contre les ravageurs, principalement les insectes et les rongeurs. Le riz doit être séché correctement jusqu'à une teneur en eau de 14% maximum pour obtenir un bon stockage et un haut rendement au décorticage. Le grain du riz africain est plus cassant que celui d'*Oryza sativa*, le rendant plus difficile à décortiquer.

Ressources génétiques L'IRD (Institut de recherche pour le développement, l'ancien ORSTOM) et le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) ont collecté des riz cultivés et des espèces sauvages apparentées (africains et introduits) dans l'ensemble de leur aire de répartition. Entre 1974 et 1983, plus de 3700 échantillons ont été collectés en Afrique et à Madagascar, parmi lesquels 20% sont *Oryza glaberrima* et 12% des espèces sauvages apparentées. Ces collections sont gardées au froid (4°C, 20% d'humidité) pour une conservation à moyen terme et en partie congelées à –20°C pour une conservation à long terme à l'IRD de Montpellier (France). La collection est dupliquée au CIRAD en France et à l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) aux Philippines. L'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) d'Ibadan (Nigeria) maintient près de 2800 entrées, et le Centre du riz pour l'Afrique (ADRAO) de Bouaké (Côte d'Ivoire) près de 1900 entrées. Des collections de ressources génétiques d'*Oryza glaberrima* sont aussi présentes au Bangladesh Rice Research Institute de Dhaka au Bangladesh (200 entrées) et à l'USDA-ARS National Small Grain Collection d'Aberdeen, Idaho, aux Etats-Unis (174 entrées). En stockage, les graines du riz africain se comportent de façon orthodoxe. Actuellement, il n'y a pas de programme de conservation in situ du riz d'origine africaine, mais cela serait souhaitable.

Sélection Alors que la variabilité génétique d'*Oryza glaberrima* est faible comparativement à celle d'*Oryza sativa*, des formes avec des caractéristiques importantes ont été identifiées : la résistance au RYMV, à la piriculariose (*Pyricularia grisea*), à la chrysomèle épineuse (*Trichispa sericea*), à la cécidomyie africaine (*Orseolia oryziphora*) et à plusieurs foreurs de tiges et aux nématodes, dont *Heterodera sacchari*, *Meloidogyne graminicola* et *Meloidogyne incognita*. Le riz africain montre une résistance à la salinité, à la sécheresse et à la toxicité ferrique et il concurrence bien les mauvaises herbes. Certains cultivars ont montré une résistance partielle ou une tolérance vis-à-vis des plantes parasites du genre *Striga*. En général, les hybrides entre *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa* sont hautement stériles en F_1 et dans les premières générations. Cependant, dans un programme d'hybridation débuté en 1992, l'ADRAO a réussi à croiser les deux espèces et à obtenir des descendants stables et fertiles par croisement en retour et sélection d'haploïdes doublées. Les descendants interspécifiques, appelés "New Rice for Africa" (NERICA), sont maintenant cultivés par les paysans en Afrique. Ils sont plus productifs qu'*Oryza glaberrima*, mais ont retenu ses caractéristiques favorables comme la compétitivité contre les adventices, la résistance aux maladies et ravageurs, la tolérance aux sols pauvres, et la bonne qualité du grain. Peu de programmes ont été entrepris pour améliorer l'espèce *Oryza glaberrima* en tant que telle.

D'importantes cartes de liaisons génétiques ont été réalisées pour le riz, et l'IRD et l'ADRAO travaillent ensemble dans un programme pour intégrer systématiquement le génome d'*Oryza glaberrima* dans celui d'*Oryza sativa*. L'objectif est de suivre l'introgression de petits fragments de génome d'*Oryza glaberrima* dans la base génétique d'*Oryza sativa* en utilisant les marqueurs moléculaires.

Perspectives Depuis environ 30 ans, on a prédit que le riz africain allait disparaître sous la pression des introductions massives de cultivars améliorés d'*Oryza sativa*. Ceci n'a pas eu lieu, bien qu'on ait effectivement observé, par ex. au Burkina Faso, une forte régression du riz africain. Le maintien du riz africain s'explique par le fait qu'il est fortement apprécié par les peuples de l'Afrique de l'Ouest qui continuent à le cultiver pour son goût et ses propriétés culinaires, et qu'il est bien adapté à des conditions de croissance très particulières, par ex. comme riz flottant.

Les croisements entre *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa* doivent continuer à inclure des programmes essayant de transférer des fragments de génome. De tels programmes d'amélioration doivent être menés en association avec un programme de conservation des ressources génétiques in situ du riz sauvage et cultivé d'origine africaine. Pour des objectifs spécifiques, certaines régions doivent être identifiées, par ex. la Guinée pour sa diversité de systèmes de riziculture, les régions du sud du Tchad/nord du Cameroun et le delta intérieur du fleuve Niger au Mali pour les contacts entre formes cultivées et sauvages, et la vallée du Ferlo au Sénégal pour l'étude des populations spontanées de l'espèce annuelle *Oryza barthii* loin de toute culture de riz. L'amélioration de la riziculture africaine devrait viser à élever les rendements et à diminuer la verse, l'égrenage et la fragilité du grain.

Références principales Bezançon, 1994; Brenière, 1983; Jones et al., 1994; Jones et al., 1997; Linares, 2002; Lorieux, Ndjiondjop &

Ghesquière, 2000; Lu, 1999; National Research Council, 1996; Séré & Sy, 1997; Sumi & Katayama, 1994.

Autres références Aluko et al., 2004; Bettencourt & Konopka, 1990; Bezançon, 1995; Bouharmont, Olivier & Dumont de Chassart, 1985; Buddenhagen & Persley (Editors), 1978; Burkill, 1994; Catling, 1992; Chang, 1995; Guei, Adam & Traoré, 2002; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Heuer et al., 2003; IPGRI, undated; Johnson et al., 1997; Leung, Busson & Jardin, 1968; Nwilene et al., 2002; Plowright et al., 1999; Purseglove, 1972; Rehm & Espig, 1991; Ukwungwu, Williams & Okhidievbie, 1998; Watanabe et al., 2002.

Sources de l'illustration National Research Council, 1996; Roshevitz, 1931.

Auteurs G. Bezançon & S. Diallo

ORYZA LONGISTAMINATA A.Chev. & Roehr.

Protologue Compt. Rend. Acad. Sci., sér. 2, Mec. Phys. Chim. Sci. Univers. Sci. Terre. 159: 561 (1914).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 24$

Synonymes *Oryza barthii* auct. non A.Chev.

Noms vernaculaires Riz sauvage vivace, riz vivace (Fr). Wild rice, red rice (En).

Origine et répartition géographique *Oryza longistaminata* est réparti dans toute l'Afrique tropicale (y compris Madagascar) ; on le trouve aussi en Afrique du Sud.

Usages Les grains d'*Oryza longistaminata* sont parfois consommés et vendus sur les marchés locaux. Ils servent d'aliment en cas de famine, par ex. au Soudan et en Ethiopie. Les peuplements denses assurent une bonne pâture au bétail. La paille sert à recouvrir les toits des maisons.

Botanique Graminée vivace robuste, atteignant 2,5 m de haut, à longs rhizomes rampants et ramifiés ; tige (chaume) jusqu'à 2,5 cm ou plus de diamètre, érigée ou ascendante, avec des racines aériennes sur les nœuds inférieurs, glabre. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine spongieuse, vert pâle à brunâtre, lisse, glabre ; ligule de (1–)1,5–5,5 cm de long, aiguë, souvent fendue à partir du milieu ; limbe linéaire, de 10–45(–75) cm × 0,5–1,5(–2,5) cm, acuminé, vert clair à vert foncé, glabre, lisse ou légèrement rugueux sur la face inférieure, légèrement rugueux sur la face supérieure. Inflorescence : panicule terminale de 16–40 cm × 2,5–8 cm, dense, érigée ou légèrement retombante, avec des rameaux obliquement ascendants à presque érigés. Epillet asymétriquement elliptique-oblong, de 7–12(–15) mm de long (sans l'arête), caduc, vert pâle à brunâtre, comportant 3 fleurs mais les 2 fleurs inférieures réduites à des lemmes stériles de (2–)2,5–4(–4,5) mm de long ; glumes réduites à un rebord membraneux ; lemme de la fleur fertile légèrement plus courte que l'épillet, carénée, coriace, poilue, avec une arête rose ou violette, plutôt mince de (2,5–)4–7,5(–8) cm de long ; paléole légèrement plus courte que la lemme et beaucoup plus étroite, aiguë ou se rétrécissant en pointe ; lodicules 2 ; étamines 6 ; ovaire supère, avec 2 stigmates plumeux de couleur noirâtre. Fruit : caryopse (grain) oblong de 7,5–8,5 mm de long, glabre, marron clair, lustré.

Le genre *Oryza* comprend environ 20 espèces sauvages réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, et 2 espèces cultivées, *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud. *Oryza longistaminata* est classé dans la série *Sativae*, avec *Oryza sativa*, *Oryza glaberrima* et *Oryza barthii* A.Chev.

Oryza longistaminata se distingue des autres espèces sauvages d'*Oryza* par sa ligule très longue et pointue. *Oryza longistaminata* est partiellement auto-incompatible et allogame. Souvent, peu de graines sont formées et la reproduction naturelle se fait par les rhizomes.

Ecologie On trouve *Oryza longistaminata* en eau profonde ou peu profonde, dans des marigots, des mares, des marécages, des plaines inondées et en bordure des rivières, jusqu'à 1800 m d'altitude. Il apparaît souvent en peuplements purs. *Oryza longistaminata* est une adventice nuisible en riziculture inondée ; car il empêche le riz cultivé de pousser et forme des hybrides avec lui. Il peut aussi faire office de réservoir pour d'importantes maladies et ravageurs du riz, comme la bactériose des feuilles (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*).

Gestion *Oryza longistaminata* est essentiellement récolté dans la nature et n'est que rarement cultivé. Les grains s'égrènent facilement, et on récolte habituellement les panicules juste avant leur maturité, ou bien on secoue celles qui sont mûres au-dessus d'un panier ou d'une calebasse. Les longues arêtes scabres n'incitent guère à toucher les panicules.

Ressources génétiques et sélection La production de graines d'*Oryza longistaminata* étant très faible, la conservation in situ est recommandée. *Oryza longistaminata* est considéré comme une source de gènes de résistance à de

nombreuses maladies qui affectent l'espèce cultivée *Oryza sativa*. La résistance à la bactériose des feuilles a été transférée avec succès. *Oryza longistaminata* est une plante hôte du virus de la marbrure jaune du riz (RYMV), maladie importante d'*Oryza sativa* en Afrique, mais en général *Oryza longistaminata* y est moins sensible, et certaines entrées sont résistantes. *Oryza longistaminata* est une source potentielle de gènes pour la mise au point de types vivaces d'*Oryza sativa*, qui assureraient une couverture du sol permanente et réduiraient l'érosion.

Perspectives *Oryza longistaminata* sert d'aliment de secours pendant les périodes de disette, mais c'est aussi une adventice nuisible d'*Oryza sativa*. Le plus grand potentiel d'*Oryza longistaminata* réside probablement dans l'amélioration génétique d'*Oryza sativa* en tant que source de gènes conférant des résistances aux maladies et un caractère vivace.

Références principales Burkill, 1994; Engels, Hawkes & Worede (Editors), 1991; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Launert, 1971; National Research Council, 1996.

Autres références Abo, Sy & Alegbejo, 1998; Akromah, 1987; Clayton, 1970; Clayton, 1972; Gibbs Russell et al., 1990; Lu, 1999; Phillips, 1995; Sacks, Roxas & Sta Cruz, 2003; Smith & Dilday, 2003; Vaughan & Chang, 1992.

Auteurs M. Brink

ORYZA PUNCTATA Kotschy ex Steud.

Protologue Syn. pl. glumac. 1(1) : 3 (1853).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 24, 48$

Noms vernaculaires Red rice, wadi rice (En). Mchetez (Sw).

Origine et répartition géographique *Oryza punctata* est réparti en Afrique tropicale depuis la Côte d'Ivoire jusqu'au Soudan, et vers le sud jusqu'en Angola, au Zimbabwe, au Mozambique et à Madagascar. On le trouve également en Afrique du Sud et en Thaïlande.

Usages Les grains décortiqués d'*Oryza punctata* sont quelquefois consommés en cas de famine au Soudan et au Kenya. Au Soudan, ils sont cuits dans l'eau ou le lait avant d'être consommés.

Propriétés Par 100 g de matière sèche, le grain d'*Oryza punctata* du Soudan contient : protéines brutes 13,9 g, lipides 4,0 g, glucides solubles 74,8 g, fibres brutes 2,9 g, Ca 40 mg, Mg 270 mg, P 550 mg, Fe 16,8 mg, et Zn 3,9 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de protéines (16 g N) est la suivante : lysine 3,6 g, méthionine 2,2 g, phénylalanine 5,2 g, thréonine 3,4 g, valine 5,9 g, leucine 8,6 g et isoleucine 4,1 g (Salih & Nour, 1992).

Botanique Graminée annuelle ou vivace de 50–120(–150) cm de haut, poussant en touffes ; tige (chaume) érigée ou géniculée ascendante, ramifiée, striée, glabre. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine souvent spongieuse, nettement striée ; ligule de 3–10 mm de long, arrondie, tronquée ou légèrement aiguë ; limbe linéaire, de 15–45 cm × 0,5–2,5 cm, acuminé, vert pâle ou rarement glauque, glabre, en général légèrement rugueux sur les deux faces. Inflorescence : panicule terminale de 15–35 cm × 3–17 cm, lâche, érigée ou légèrement retombante, avec des rameaux étalés ou ascendants. Epillet asymétriquement elliptique-oblong ou largement oblong, de (5–)5,5–6,5 mm de long, caduc, vert grisâtre ou glauque, comportant 3 fleurs mais les 2 fleurs inférieures réduites à des lemmes stériles de 1–1,5 mm de long ; glumes réduites à un rebord étroit, membraneux, blanchâtre ; lemme de la fleur fertile légèrement plus courte que l'épillet, carénée, coriace, poilue ou rarement glabre, avec une arête flexueuse, mince, jaune pâle, de (1–)2–7,5 cm de long ; paléole légèrement plus courte que la lemme et beaucoup plus étroite, aiguë ou se rétrécissant en une pointe courte ; lodicules 2 ; étamines 6 ; ovaire supère, avec 2 stigmates plumeux de couleur noirâtre. Fruit : caryopse (grain) oblong de 4–5 mm de long, glabre, marron clair.

Le genre *Oryza* comprend environ 20 espèces sauvages réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, et 2 espèces cultivées, *Oryza sativa* L. et *Oryza glaberrima* Steud. *Oryza punctata* est classé dans la série *Latifoliae*.

Au sein d'*Oryza punctata*, on connaît des plantes diploïdes ($2n = 24$) et tétraploïdes ($2n = 48$). *Oryza punctata* peut être croisé avec *Oryza sativa* grâce aux techniques de sauvetage d'embryons.

Ecologie On trouve *Oryza punctata* dans les endroits marécageux, en bordure de rivières, au bord des marigots et des étangs, jusqu'à 1200 m d'altitude. C'est une adventice nuisible en riziculture et ses graines peuvent contaminer les cultivars de riz.

Gestion *Oryza punctata* est ramassé dans la nature. Le poids de 1000 graines est d'environ 25 g. Le décorticage nécessite un pilage vigou-

reux, ce qui fait que l'on consomme rarement les grains entiers.

Ressources génétiques et sélection *Oryza punctata* est considéré comme une source de résistance à de nombreuses maladies et ravageurs qui affectent *Oryza sativa*, notamment la bactériose des feuilles (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*) et la cicadelle brune (*Nilaparvata lugens*).

Perspectives Bien que les grains d'*Oryza punctata* aient une bonne qualité nutritionnelle, ils semblent n'être utilisés que comme aliment de famine, et la plante passe pour une adventice nuisible en riziculture. Il se peut qu'*Oryza punctata* soit utile pour l'amélioration d'*Oryza sativa*, bien qu'il soit génétiquement plus éloigné qu'*Oryza barthii* A.Chev. et qu'*Oryza longistaminata* A.Chev. & Roehr.

Références principales Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Kaushal & Ravi, 1998; Launert, 1971; National Research Council, 1996; Salih & Nour, 1992.

Autres références Burkill, 1994; Clayton, 1970; Clayton, 1972; Gibbs Russell et al., 1990; Lu, 1999; Mahmoud et al., 1995; Smith & Dilday, 2003; Vaughan & Chang, 1992.

Auteurs M. Brink

ORYZA SATIVA L.

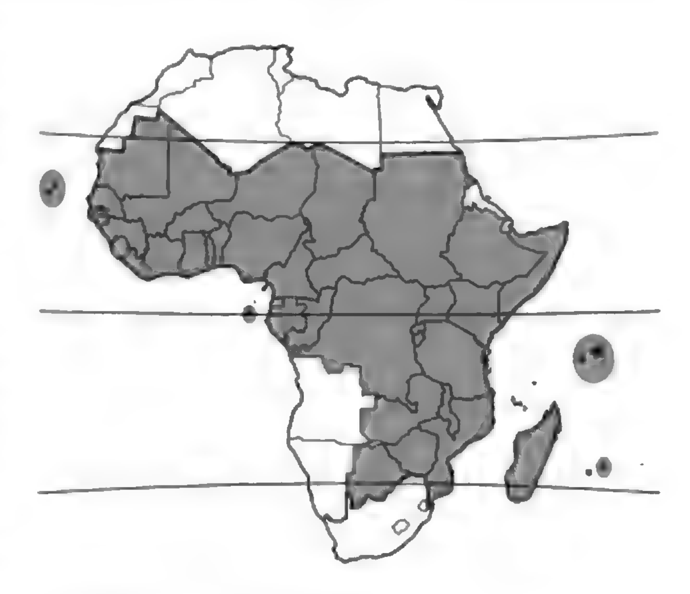
Protologue Sp. pl. 1: 333 (1753).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n$ = 12, 24, 36

Noms vernaculaires Riz, riz asiatique (Fr). Rice, paddy, Asian rice, Asiatic rice (En). Arroz (Po). Mpunga (Sw).

Origine et répartition géographique L'évolution d'*Oryza sativa* s'est faite en Asie, mais il n'y a aucune certitude sur l'époque ou sur le lieu de sa domestication. Des restes de riz trouvés en Chine ont été datés de 6500 avant J.-C. ; en Inde, les preuves archéologiques les plus anciennes remontent à 2500 avant J.-C. Depuis l'Asie, *Oryza sativa* est parvenu en Afrique tropicale par plusieurs voies. Partis d'Indonésie, des marins-paysans se mirent à naviguer vers Madagascar, probablement quelques siècles avant J.-C., et y introduisirent la culture d'*Oryza sativa*. Une autre importante voie de contact entre l'Afrique et l'Asie, à l'aube de l'ère chrétienne, fut la route commerciale depuis le Sri Lanka et l'Inde via Oman jusqu'à la Somalie et les îles de Zanzibar et Kilwa, au large des côtes de Tanzanie. Par contre, c'est



Oryza sativa – planté

probablement d'Egypte, où il avait été introduit vers 800–900 après J.-C., qu'*Oryza sativa* migra vers l'Afrique de l'Ouest. La pénétration ultime d'*Oryza sativa* en Afrique s'est faite le long des routes de la traite des esclaves, depuis la côte est de l'Afrique et Zanzibar jusqu'à la R.D. du Congo, à partir de 1500 après J.-C. A la même époque, *Oryza sativa* fut introduit au Sénégal, en Guinée-Bissau et en Sierra Leone par les Portugais au retour de leurs expéditions vers l'Inde. De nos jours, il est cultivé dans toutes les régions tropicales humides et dans de nombreuses zones subtropicales et tempérées où la période hors-gel dépasse 130 jours.

Usages Le riz en grains se cuit à l'eau ou à la vapeur et il se consomme surtout avec des légumes secs, des légumes, du poisson ou de la viande. La farine de riz sert à confectionner des aliments pour le petit déjeuner, des aliments pour bébés, des préparations pour pains et gâteaux ainsi que des cosmétiques. L'amidon extrait des brisures de riz s'emploie en blanchisserie, dans l'alimentation, la cosmétologie et la fabrication des textiles. On fait aussi des bières, des vins et des alcools avec le riz.

La balle ou enveloppe du riz sert de combustible, de litière, de matériau d'absorption ou d'emballage et de support pour les vitamines et les médicaments ; on en fait également des planches de construction. La balle carbonisée s'utilise pour filtrer les impuretés de l'eau, elle sert de milieu de culture hors-sol et à la fabrication de briquettes de charbon de bois.

Le son et les issues de riz qu'on obtient lors du blanchiment et du polissage constituent un aliment de valeur pour le bétail et les volailles.

Du son, on extrait de l'huile. L'huile brute de son de riz est transformée en huile solidifiée, en acides stéarique et oléique, en glycérine et en savon. L'huile de riz raffinée s'emploie en cuisine, comme agent antirouille et anticorrosion, comme apprêt pour les textiles et le cuir, ainsi qu'en médecine.
La paille de riz sert dans l'alimentation du bétail et pour leur litière, dans la confection de planches de paille et de pâte à papier, la production de compost et en culture de champignons comme milieu de croissance ; elle sert aussi de paillage aux cultures légumières ; on en fait des cordes, des sacs, des nattes et des chapeaux ; elle s'emploie pour couvrir les toits, et on en fabrique des enduits (en mélange avec de la boue argileuse) utilisés en maçonnerie ; on l'incorpore également dans la terre ou on la brûle au champ pour conserver ou améliorer la fertilité du sol.
Plusieurs usages du riz en médecine traditionnelle ont été signalés en Afrique tropicale : des pansements de feuilles s'appliquent sur les ulcères et des décoctions de grain se boivent pour traiter la diarrhée, comme diurétique et comme émollient. La poudre de riz s'emploie au Sénégal contre les démangeaisons. En R.D. du Congo, une décoction de racines, de feuilles et de balle se prend contre la démence et le béribéri.

Production et commerce international D'après les estimations de la FAO, la production mondiale annuelle moyenne en 1999–2003 s'est élevée à 593 millions de t de riz paddy (grain non décortiqué) sur 153 millions d'ha. L'Asie compte pour 90% de la production mondiale et de la superficie de production. En 1999–2003, l'Afrique tropicale a produit chaque année en moyenne 11,9 millions t de riz paddy (2% de la production mondiale) sur 7,7 millions d'ha (5% de la superficie mondiale) ; ces données incluent le riz africain (*Oryza glaberrima* Steud.), qui occupe moins de 20% des superficies en Afrique de l'Ouest. Les principaux producteurs sont le Nigeria (3,5 millions de t sur 2,9 millions d'ha), Madagascar (2,6 millions de t sur 1,2 millions d'ha) et la Côte d'Ivoire (1,1 millions de t sur 0,5 million d'ha). La production annuelle de riz paddy a connu une augmentation régulière, passant de 241 millions de t/an en 1961–1965 à 593 millions de t/an en 1999–2003, et la superficie de récolte de 121 à 153 millions d'ha. Au cours de la même période, la production annuelle de riz paddy en Afrique tropicale passait de 3,6 à 11,9 millions de t/an, et la superficie de récolte de 2,8 à 7,7 millions d'ha.
Seulement 5% de la production mondiale de riz fait l'objet de commerce international. La Thaïlande est le plus gros exportateur de riz blanchi (26% du commerce mondial en 1998–2002), suivie par le Vietnam, l'Inde, les Etats-Unis, la Chine et le Pakistan. Tous les pays d'Afrique tropicale sont des importateurs nets de riz blanchi et en 1998–2002, il en a été importé chaque année 4,8 millions de t en moyenne. Ceci signifie que plus d'un tiers de la consommation de riz en Afrique tropicale est satisfaite grâce aux importations. Les principaux importateurs de riz sont le Nigeria, le Sénégal et la Côte d'Ivoire. La consommation de riz blanchi par personne et par an en Afrique tropicale varie énormément, de 0,15 à 95 kg, la moyenne étant d'environ 18 kg au cours de la période 1998–2002. A Madagascar, en Sierra Leone et en Guinée-Bissau, c'est la principale source d'énergie.

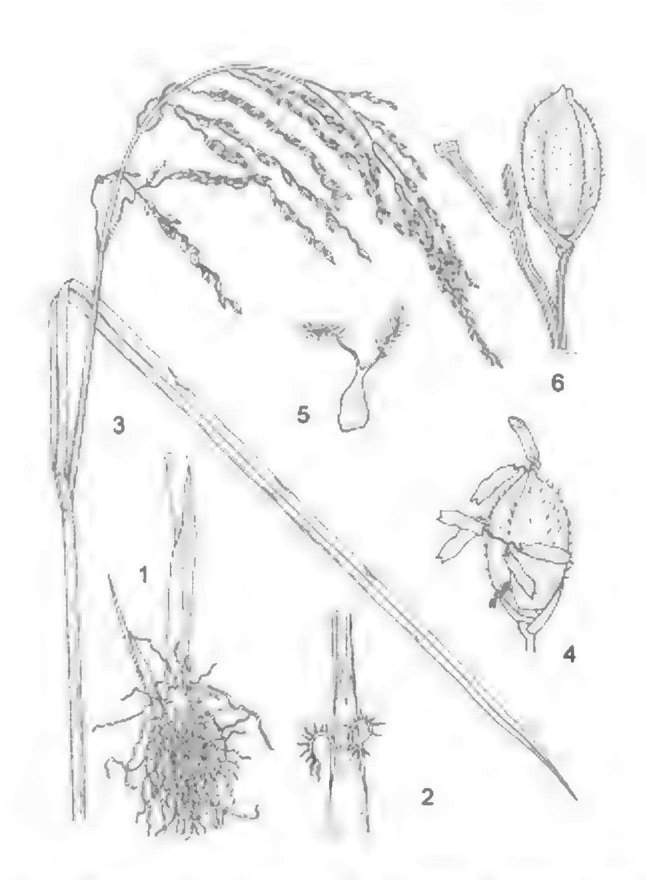
Propriétés Le riz complet cru ("riz cargo"), par 100 g de partie comestible, contient : eau 13,9 g, énergie 1518 kJ (363 kcal), protéines 6,7 g, lipides 2,8 g, glucides 81,3 g, fibres alimentaires 3,8 g, Ca 10 mg, Mg 110 mg, P 310 mg, Fe 1,4 mg, Zn 1,8 mg, thiamine 0,59 mg, riboflavine 0,07 mg, niacine 5,3 mg, vitamine B_6 0,56 mg, folates 49 µg, acide ascorbique 0 mg. Le riz poli cru, par 100 g de partie comestible, contient : eau 11,7 g, énergie 1536 kJ (367 kcal), protéines 6,5 g, lipides 1,0 g, glucides 86,8 g, fibres alimentaires 2,2 g, Ca 4 mg, Mg 13 mg, P 100 mg, Fe 0,5 mg, Zn 1,3 mg, thiamine 0,08 mg, riboflavine 0,02 mg, niacine 1,5 mg, vitamine B_6 0,30 mg, folates 20 µg, acide ascorbique 0 mg (Holland, Unwin & Buss, 1988). La composition en acides aminés essentiels du riz poli cru, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 87 mg, lysine 250 mg, méthionine 140 mg, phénylalanine 330 mg, thréonine 230 mg, valine 390 mg, leucine 560 mg et isoleucine 260 mg (Paul, Southgate & Russell, 1980). Le blanchiment et le polissage font perdre au riz des protéines, des lipides, des minéraux (phosphore et potassium) et des vitamines (thiamine, riboflavine et niacine). Cependant, ces opérations permettent d'améliorer la qualité au stockage et de raccourcir le temps de cuisson.
L'albumen du grain de riz peut être gluant (glutineux) ou non gluant (non glutineux), en fonction de sa teneur en amylose et en amylopectine. Plus la teneur en amylopectine est élevée, plus le produit est glutineux. L'albumen contient également des sucres, des lipides, des

fibres brutes, des vitamines et des matières inorganiques. Le goût du riz est variable et les cultivars de riz parfumé sont très appréciés dans le monde entier. L'un des composants principaux du goût est le 2-acétyl-1-pyrroline.

Le son de riz contient : eau 9,9%, énergie brute 1940 kJ (463 kcal) par 100 g, protéines brutes 13,8%, fibres brutes 7,8%, extrait à l'éther 16,4%. Après extraction de l'huile, il contient : eau 9,8%, énergie brute 1590 kJ (380 kcal) par 100 g, protéines brutes 14,4%, fibres brutes 9,3%, extrait à l'éther 3,1%. L'enveloppe (les glumelles) représente environ 20% du poids du grain non décortiqué, et est très riche en silice. La paille de riz contient environ : eau 7,0%, protéines 3,4%, lipides 0,9%, glucides 47,8%, fibres 33,4% et cendres 7,5%. Sa valeur nutritionnelle est inférieure à celle d'autres céréales, sauf si elle est ensilée.

En raison de sa teneur élevée en silice (12–18%), la paille de riz ne convient pas particulièrement à la fabrication de papier, et les pays où on la destine à cet usage sont surtout ceux où le bois est rare, comme l'Inde et la Chine. Les cellules de fibres ultimes font (0,4–)1,4(–3,4) mm de long et (4–)9(–16) µm de large.

Description Graminée annuelle atteignant 1,8 m de haut (et jusqu'à 5 m de long chez certains types flottants), formant de petites touffes ; racines fibreuses, partant de la base des pousses ; tige (chaume) érigée ou ascendante partant d'une base géniculée, cylindrique, lisse, glabre. Feuilles alternes, simples ; gaine grossièrement striée, resserrée à l'état jeune, un peu lâche par la suite, souvent un peu spongieuse, verte ou parfois teintée de brun ou de violet, lisse, glabre ; ligule de 1,5–3 cm de long, triangulaire, aiguë, entière ou fendue, membraneuse, habituellement glabre ; auricules souvent présentes, falciformes, de 1–5 mm de long, poilues ; limbe linéaire, se rétrécissant en une pointe aiguë, de 12–65 cm × 0,5–2 cm, vert vif à glauque, glabre ou pubérulent, lisse sur la face inférieure, légèrement rugueux sur la face supérieure, nervure médiane généralement distincte. Inflorescence : panicule terminale atteignant 50 cm de long, érigée, courbe ou pendante, à 50–500 épillets ; rameaux solitaires ou groupés, quasi érigés à étalés. Epillet solitaire, de forme oblongue asymétrique à elliptique-oblongue, de 7–11 mm × 2,5–3,5 mm, dont le pédicelle atteint 4 mm de long, à 3 fleurs mais dont les 2 fleurs inférieures se réduisent à des lemmes stériles de 2–3 mm de long ; glumes petites ; lemme de la fleur fertile de 6–10 mm de long, carénée, parfois aristée ; paléole presque aussi longue que la lemme ; lodicules 2 ; étamines 6 ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) ovoïde, ellipsoïde ou cylindrique, de 5–7,5 mm × 2–3,5 mm, souvent jaune blanchâtre ou brun à gris brunâtre.



Oryza sativa – 1, base de la plante avec racines ; 2, ligule et auricules ; 3, panicule avec feuille ; 4, épillet en fleur ; 5, ovaire avec stigmates ; 6, épillet avec grain mûr.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Oryza* comprend environ 20 espèces sauvages, réparties dans toutes les régions tropicales et subtropicales, et 2 espèces cultivées, *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima*. Selon la classification la plus récente, *Oryza* est divisé en 3 sections : sect. *Padia*, sect. *Brachyantha* et sect. *Oryza*. La section *Oryza* est subdivisée en 3 séries : ser. *Latifoliae*, ser. *Australiensis* et ser. *Sativae*. *Oryza sativa* est classé en ser. *Sativae*, avec, entre autres, *Oryza glaberrima*, *Oryza barthii* A.Chev., et *Oryza longistaminata* A.Chev. & Roehr. Les cultivars d'*Oryza glaberrima* ne sont cultivés qu'en Afrique. Il se peut que l'introgression des caractères d'*Oryza glaberrima*, *Oryza barthii* et *Oryza longistaminata* ait ajouté de nouvelles dimensions à la variabilité d'*Oryza sativa*.

On suppose que le riz cultivé *Oryza sativa* a évolué depuis des types pérennes (*Oryza rufi-*

pogon Griff.) vers des types annuels (*Oryza nivara* S.D.Sharma & Shastri, qui est parfois inclus dans *Oryza rufipogon*). Il existe un flux de gènes naturel entre ces 3 espèces, qui constituent un vaste complexe d'espèces, associées à des formes adventices de riz (communément appelées "riz rouge" en raison de leur albumen rouge). Il y a 2 principaux groupes de cultivars écogéographiques d'*Oryza sativa* : le Groupe Indica, qui comporte principalement des cultivars issus des tropiques, et le Groupe Japonica, dont les cultivars proviennent des régions tempérées et subtropicales. Les cultivars traditionnels du Groupe Indica, de grande taille, sont feuillus, tallent fortement et ont une prédisposition à la verse ; ils ne réagissent pas bien aux engrais, à l'azote en particulier, et ils sont sensibles à la photopériode : robustes et résistants aux maladies, ils tolèrent des conditions de croissance défavorables ; ils produiront des rendements satisfaisants avec une conduite de culture simple. Les cultivars modernes du Groupe Japonica, de petite taille, tallent moins, sont moins feuillus, résistent à la verse, ne sont pas sensibles à la photopériode et ont une maturité précoce. Les caractéristiques de ces deux groupes de cultivars ont tendance à se confondre en raison des programmes de croisement de ces dernières années. La classification du riz peut également s'opérer selon les conditions dans lesquelles il pousse, en fonction de la taille, de la forme et de la texture du grain, ou en fonction de la période requise pour parvenir à maturité.

Croissance et développement La graine de riz germe en 24–48 heures. La température optimale de germination est de 30–32°C. La plupart des cultivars ont une dormance courte, voire nulle, mais chez certains d'entre eux, elle peut se prolonger jusqu'à 4 mois. Dix jours après la germination, la plante devient autonome, une fois la réserve du grain épuisée. Le tallage commence juste après, mais chez les plants repiqués, il peut intervenir une semaine plus tard. Chez les cultivars modernes à cycle moyen, le tallage maximum est atteint environ 45 jours après le repiquage et coïncide avec l'initiation de la panicule. La durée du stade végétatif va de 7 jours à plus de 120. La période reproductive commence lors de l'initiation de la panicule, et la période qui va de celle-ci à la floraison est d'environ 35 jours. Le riz est autogame à presque 100%, mais il y a un peu d'allogamie due au vent. Il faut environ 7 jours pour que tous les épillets d'une panicule terminent leur anthèse, qui se fait du haut vers le bas. La période qui va de la floraison à la maturité complète de la totalité des grains d'une panicule est d'environ 30 jours. Des températures basses peuvent retarder la maturité, tandis que des températures élevées l'accélèrent. Le riz flottant a un cycle long, de 7 mois ou plus. Les racines de riz ont la faculté de pousser à de faibles concentrations d'oxygène. Mais ce ne sont pas des racines typiquement aquatiques ; elles sont très ramifiées et possèdent des poils racinaires à profusion ; par la suite, un tissu spongieux (l'aérenchyme) se développe dans le cortex.

Ecologie La culture du riz s'étend vers le nord jusqu'à 53°N à Moho, au nord de la Chine, et vers le sud jusqu'à 35°S en Nouvelle Galles du Sud, en Australie. Il pousse sur sol sec ou inondé et à des altitudes qui vont du niveau de la mer jusqu'à au moins 2400 m. La température moyenne pendant la saison de croissance varie de 20–38°C. Des températures nocturnes inférieures à 15°C peuvent entraîner une stérilité de l'épillet. Des températures supérieures à 21°C lors de la floraison sont nécessaires à l'anthèse et à la pollinisation. Le riz pluvial doit se voir garanties des précipitations d'au moins 750 mm, sur une période de 3–4 mois, et ne tolère pas le dessèchement. Le riz de basses terres tend à se concentrer en plaine, dans les bassins fluviaux et les deltas. Les besoins moyens en eau du riz irrigué sont de 1200 mm par culture, ou 200 mm de précipitations par mois, ou une quantité équivalente produite par l'irrigation. L'humidité relative au sein du couvert végétal est élevée, car il y a de l'eau en permanence dans la plupart des cultures de riz. Une faible humidité relative au-dessus du couvert végétal au cours de la saison sèche, aggravée par des vents forts, peut entraîner la stérilité des épillets. Les cultivars traditionnels sont généralement sensibles à la photopériode et fleurissent en jours courts (longueur de jour critique de 12,5–14 heures). Mais nombreux sont les cultivars modernes qui sont insensibles à la photopériode.

Les sols sur lesquels pousse le riz varient beaucoup : leur texture va du sable à l'argile, avec une teneur en matière organique de 1–50%, un pH de 3–10, une teneur en sel atteignant 1%, et une présence de nutriments allant de la carence aiguë à l'excédent. Mais c'est sur les sols lourds et fertiles que le riz réussit le mieux. Pour un sol inondé, le pH optimal est de 6,5–7,0. La texture souvent sableuse des sols d'Afrique tropicale est une contrainte à la productivité, en raison du stress dû à la séche-

resse, la faible fertilité inhérente du sol et son lessivage. Dans la région sèche du Sahel, où la culture du riz se pratique sous irrigation, on rencontre des problèmes de salinité des eaux de la nappe phréatique. Dans les basses terres situées sur la côte d'Afrique de l'Ouest, la productivité du riz est affectée par l'intrusion d'eau saline. De plus, la majorité des sols de mangrove que l'on rencontre le long de cette côte sont des sols sulfatés acides potentiels ou avérés. En Afrique de l'Ouest, la toxicité ferrique au fond des vallées est surtout grave dans les zones où les hautes terres voisines sont des ultisols fortement lessivés. Le riz de basses terres et le riz flottant peuvent être exposés aussi bien à la sécheresse qu'à la submersion totale. Sur les sols submergés, le pH tend à être neutre, c'est-à-dire que sur les sols acides il augmente tandis que sur les sols calcaires et sodiques il diminue. Les ions de Fe, de N et de S sont réduits, la présence et la disponibilité des éléments N, P, Si et Mo s'améliore, tandis que les concentrations de Zn et de Cu solubles dans l'eau diminuent. Des produits de réduction toxiques tels que le méthane, les acides organiques et le sulfure d'hydrogène se forment. L'inondation des sols de rizières crée par ailleurs un environnement qui favorise la propagation des microbes anaérobies avec les changements biochimiques qui les accompagnent. Il en résulte un ralentissement de la décomposition de la matière organique. Toutefois, une fine couche superficielle demeure généralement oxydée et fait vivre les microbes aérobies.

Multiplication et plantation Le riz se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 20–35 g. On peut semer les graines directement au champ, à la volée ou au semoir, ou bien repiquer des plants issus de semis en pépinière. Le semis direct se pratique sur des sols secs ou boueux. Sur ces derniers, les graines (prégermées) se sèment à la volée. En riziculture tropicale, après le semis, on maintient le niveau de l'eau à 0–5 cm. Sur sol sec, on sème juste avant ou après le travail du sol. Dans le second cas, on recouvre alors légèrement les graines de terre. On sème juste avant l'arrivée des pluies et la germination a lieu après de fortes précipitations ininterrompues. Cette méthode offre la possibilité de profiter des premières pluies pour la croissance initiale de la culture.

En Afrique tropicale, on distingue différents systèmes de riziculture :

- Le riz pluvial, qui peut se subdiviser en riz de culture sèche, où l'apport en humidité dépend entièrement des précipitations, et en riz hydromorphe, où la zone d'enracinement se voit périodiquement saturée par une nappe phréatique fluctuante, qui vient s'ajouter aux précipitations ;
- Le riz de basses terres, dont fait partie le riz de mangrove des régions côtières, dans lequel pénètrent les marées, le riz de marécages terrestres sur le fond de vallées planes ou en V, inondées à des degrés divers, et le riz sur casiers endigués, pluvial ou irrigué ;
- Le riz flottant, chez lequel la croissance rapide des entrenœuds va au même rythme que la montée des eaux, débutant à 50 cm d'eau stagnante et s'élevant jusqu'à 5 m.

Dans la riziculture pluviale, on nettoie généralement les champs par la pratique du brûlis. La préparation du sol est succincte. On sème le riz à la volée ou on le plante dans des trous à l'arrivée des pluies. Il est souvent cultivé en tête de rotation ou associé avec d'autres plantes comme le manioc, le maïs, le sorgho, le niébé, l'arachide et autres légumes secs.

Dans les régions de riz pluvial de basses terres, le travail du sol se fait surtout au moment où il est détrempé, et plus rarement lorsqu'il est sec. La méthode de travail du sol sur terre détrempée consiste à gorger la terre d'eau jusqu'à saturation, à labourer à 10–20 cm de profondeur à l'aide d'une charrue tirée par des bœufs ou de petites machines agricoles, ou à la houe, de préférence lorsqu'il y a un peu d'eau sur la terre, et à herser, phase pendant laquelle de grosses mottes de terre se brisent et se mélangent à l'eau. Les avantages importants de la mise en boue sont manifestement une moindre perte d'humidité due à la percolation, une meilleure gestion des adventices et un repiquage aisé. Dans la riziculture de basses terres, on élève surtout les plants en pépinière sur des planches humides, mais aussi parfois sèches. Les planches humides sont réalisées dans le champ mis en boue ou détrempé. Les paysans utilisent généralement 50–60 kg de graines de riz pour ensemencer un hectare. Les graines, prégermées, sont répandues sur la planche, que l'on maintient constamment détrempée. Les planches de pépinière sèches sont disposées à proximité de la source d'eau, avant le travail du sol. Une fois semées, les graines sont ensuite recouvertes d'une mince couche de terre et arrosées à saturation pour permettre leur germination homogène. On arrose à nouveau si besoin. Dans les deux cas, les plants sont prêts à être repiqués 20–35 jours après le

semis. Lors du repiquage, les cultivars des fonds de vallées fertiles qui tallent beaucoup sont davantage espacés (30 cm × 30 cm) que ceux des champs sablonneux d'altitude, qui tallent peu (20 cm × 20 cm). Pour le riz irrigué, l'espacement est habituellement de 20 cm × 20 cm, et de 2–4 pieds par trou (500 000–1 000 000 pieds/ha). En conditions de basses terres, la riziculture se pratique généralement seule. Lorsqu'on approche de la moisson, on pratique parfois une plantation en relais. En de nombreux endroits des tropiques, on peut produire 2, voire 3 récoltes de riz chaque année. Mais en Afrique tropicale, on manque de données précises sur l'importance des différents systèmes de riziculture. L'écosystème du riz pluvial, y compris le riz hydromorphe, représente selon les estimations 50% de la superficie cultivée en riz d'Afrique tropicale ; la riziculture de basses terres, à laquelle appartiennent le riz de mangrove, le riz des marécages terrestres et le riz irrigué, représente 45% de la superficie totale cultivée en riz ; la riziculture en eau profonde (riz flottant) occupe les 5% restants. La plus grande partie du riz est cultivée sur de petites exploitations, de 0,5–2 ha.

Gestion La diversité qui existe dans l'agronomie du riz s'explique par les différences entre les systèmes de culture. Si d'habitude la riziculture pluviale nécessite une main-d'œuvre relativement peu importante, le repiquage manuel du riz dans des sols mis en boue est une opération qui en réclame beaucoup. Le désherbage est généralement inutile dans les 2 premières semaines. Le désherbage manuel est la règle, mais la lutte chimique contre les adventices se répand aussi en Afrique tropicale, surtout dans les zones de riz irrigué. Trois désherbages pratiqués en temps voulu sont habituellement nécessaires pour le riz semé à la volée.

Dans la production du riz de basses terres, la terre reste inondée depuis le moment de la plantation jusqu'à l'approche de la récolte. L'approvisionnement en eau se fait soit par inondation au cours de la saison des pluies, soit en faisant pousser le riz sur une terre naturellement marécageuse, soit sous irrigation maîtrisée. Le niveau de l'eau est maintenu à une hauteur de 5–15 cm, de manière à éliminer la croissance des mauvaises herbes et à garantir la disponibilité de l'eau. Une inondation ininterrompue et à profondeur constante, entre 2,5–7,5 cm, est ce qu'il y a de mieux. On peut drainer les champs de temps en temps pour faciliter le désherbage et la fertilisation. Au moment de la floraison, on diminue progressivement le niveau de l'eau jusqu'à ce que le champ soit presque à sec à la récolte. Il faut généralement 1,5–2 m d'eau (précipitations plus irrigation) pour avoir une bonne production. La période pendant laquelle le riz est le plus sensible au manque d'eau se situe entre 20 jours avant et 10 jours après le commencement de la floraison.

L'épandage d'engrais reste limité dans la riziculture d'Afrique tropicale. C'est seulement pour le riz irrigué par une alimentation en eau maîtrisée et avec des cultivars modernes que les paysans ont recours à des quantités significatives d'engrais minéraux. Les quantités d'engrais utilisées habituellement par ha sont de 60–120 kg de N, 10–20 kg de P et 0–30 kg de K. Pendant la saison sèche, on augmente les doses d'azote, lorsque le niveau de rayonnement solaire s'élève et que le grossissement des grains est plus important. Les engrais azotés ne s'épandent généralement qu'en surface, surtout avant ou pendant l'initiation des panicules. L'engrais se répand à la volée et manuellement. Les carences minérales les plus courantes dans la riziculture sont celles en azote et en phosphore, ainsi que celles en potassium et en soufre dans des zones restreintes, et parfois en zinc et en silicium sur les sols tourbeux. Une carence en potassium est souvent associée à une toxicité ferrique. Le riz pluvial souffre souvent d'une carence en soufre. Il y a souvent une carence en zinc dans les zones de rizières en raison d'un pH élevé et de la forte réduction du sol. Sous l'influence de cette réduction et d'un drainage interne insuffisant, plusieurs éléments toxiques comme le fer, qui inhibe l'absorption du phosphore dans la plante, peuvent s'accumuler aux abords de la racine. Souvent, un excès nuisible d'éléments tels que le calcium s'accompagne d'un manque d'autres éléments comme le phosphore, le fer et le zinc. Il est déconseillé de faire une double récolte là où existent des maladies physiologiques. Les engrais verts et l'*Azolla* sont rarement utilisés en Afrique tropicale. Cependant, l'usage de *Sesbania rostrata* Bremek. & Oberm. est prometteur en tant qu'engrais vert à croissance rapide et actif fixateur d'azote. La fixation d'azote se fait aussi sur les terres à riz au moyen d'*Azotobacter* et d'algues bleues (cyanobactéries). En Afrique tropicale, il est rare qu'on épande des engrais organiques tels que fumier de ferme et compost sur les cultures de riz. Même si d'ordinaire l'incorporation de fertilisants organiques améliore l'état des sols, le résultat ne se voit pas immédiatement. La dif-

ficulté à s'en procurer, les problèmes de transport et l'importante quantité de main d'œuvre en jeu découragent également leur utilisation.
Le degré de mécanisation est en général limité dans la riziculture d'Afrique tropicale. Il arrive que les paysans travaillent la terre avec des tracteurs ou de petits cultivateurs à deux roues et que pendant la récolte ils se servent de batteuses à moteur.
Pour diverses raisons, de nombreux rizières sont laissées en jachère pendant la saison sèche. Dans les régions où les conditions climatiques et l'état du sol permettent de cultiver en saison sèche, le riz est parfois cultivé en rotation avec d'autres céréales, des légumes secs et des légumes.

Maladies et ravageurs La maladie la plus courante et la plus importante du riz en Afrique tropicale est la piriculariose (*Pyricularia grisea*, synonyme : *Pyricularia oryzae*). Bien que cette maladie soit souvent liée au stress dû à la sécheresse, ce qui la rend particulièrement grave en culture pluviale et dans les endroits sujets à la sécheresse, elle peut aussi être importante ailleurs. Une faible intensité lumineuse, des déséquilibres nutritionnels (une carence en K en particulier), un apport excessif en N et des températures relativement basses (20–28°C) constituent des facteurs supplémentaires favorisant cette maladie. La piriculariose peut infecter les feuilles du riz, ses nœuds et ses parties florales, surtout la base de la panicule. D'autres maladies importantes du riz en Afrique tropicale sont la bactériose des feuilles (*Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*), le virus de la marbrure jaune du riz (RYMV, que l'on ne rencontre qu'en Afrique), l'helminthosporiose (*Cochliobolus miyabeanus*), la brûlure de la feuille (*Microdochium oryzae*), le rhizoctone (*Thanatephorus cucumeris*), la cercosporose (*Cercospora janseana*) et la pourriture de la gaine provoquée par *Sarocladium oryzae*. Le recours à des cultivars résistants, une application judicieuse d'engrais azotés, une modulation de la date de plantation, une rotation des cultures ainsi que des mesures phytosanitaires et de quarantaine réduisent les pertes liées aux maladies du riz. La lutte chimique contre la piriculariose et les autres maladies du riz n'est pratiquement pas pratiquée en Afrique tropicale.
Les nématodes attaquent les racines et les jeunes feuilles non déployées, et dans certaines régions d'Afrique tropicale, ils font chuter la production de riz. La plupart des espèces d'insectes qui entraînent des dégâts sur le riz au champ et sur les grains stockés en Afrique tropicale sont indigènes, et diffèrent de ceux que l'on trouve en Asie. Des insectes se nourrissant de l'intérieur des tiges tels que les foreurs de tiges, la mouche à yeux pédonculés et la cécidomyie font généralement les plus gros dégâts. Les espèces les plus courantes de foreurs de tiges en Afrique tropicale sont le foreur blanc (*Maliarpha separatella*), le foreur rose (*Sesamia* spp.) et le foreur rayé (*Chilo* spp.). Les dégâts sont provoqués par leurs larves, qui se nourrissent de l'intérieur de la tige et détruisent le système vasculaire. Ce qu'on appelle le "cœur mort" est le dégât sur la talle avant la floraison. La "tête blanche" est un dégât survenant après la floraison et qui entraîne le dessèchement de toute la panicule. Les dégâts causés par la mouche à yeux pédonculés (principalement *Diopsis macrophthalma*) ressemblent au cœur mort provoqué par les foreurs des tiges, car cette mouche s'attaque généralement au pied de riz au début du tallage. Lorsque la larve de la cécidomyie (*Orseolia oryzivora*) s'alimente, cela induit la gaine foliaire à se transformer en galle, et les talles à galles ne portent pas de panicules. Les termites et les courtilières s'attaquent au riz, surtout le riz pluvial de culture sèche.
Les insectes ravageurs les plus importants du riz stocké sont le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*) et le capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*). En effet, ces insectes peuvent complètement détruire les grains.
On peut lutter contre les insectes par des méthodes chimiques, culturales et biologiques. En Afrique tropicale, les paysans ont recours aux insecticides mais à des niveaux bien plus modestes qu'en Asie. Il importe d'employer des méthodes diversifiées de protection des cultures, de manière à mettre en œuvre un système de lutte intégrée pour le riz d'Afrique tropicale qui soit durable, peu coûteux, et respecteux de l'environnement. Ce système doit faire appel tout à la fois aux cultivars résistants, aux méthodes culturales, à la lutte biologique, et en dernier ressort, à la lutte chimique lorsque les dégâts causés pas les ravageurs menacent de dépasser le seuil du préjudice économique. Les méthodes culturales comprennent une approche sanitaire (la destruction des résidus de culture, des plantes relais, adventices comprises, et des biotopes des ravageurs), le travail du sol et la submersion des champs, la rotation des cultures, la culture associée, un bon calendrier de plantation et de récolte, la mise en place de cultures piège, ainsi qu'une bonne gestion des engrais et de l'eau.

Les oiseaux mangent les graines semées à la volée, gênent la croissance des jeunes plants repiqués et dévorent les grains de riz ; les pertes peuvent être très élevées. Les rongeurs s'attaquent également au riz à tous les stades de sa croissance ainsi qu'au grain stocké, et les pertes qui peuvent leur être imputées sont souvent importantes. Les escargots, les crabes et les crevettes provoquent des dégâts moins importants.

Des adventices parasites du genre *Striga* peuvent entraîner des pertes importantes dans le riz pluvial, par ex. *Striga aspera* (Willd.) Benth. et *Striga hermonthica* (Delile) Benth. en Afrique de l'Ouest, ainsi que *Striga asiatica* (L.) Kuntze dans les îles de l'océan Indien.

Récolte Il faut récolter le grain avant qu'il soit complètement mûr (à environ 21–24% d'humidité), habituellement environ 30 jours après la floraison, ou lorsque 90% des grains sont fermes et n'ont pas une teinte verdâtre. L'humidification et le séchage peuvent être à l'origine d'un craquellement du grain, les fissures se formant plus facilement lorsqu'il est assez dur. La récolte manuelle, méthode la plus courante, réclame une main d'œuvre très importante. Dans certaines régions, on utilise un petit couteau, mais dans de nombreux endroits les paysans se servent d'une faucille pour faucher les panicules ainsi qu'une partie ou la totalité des chaumes. Les moissonneuses mécaniques sont très rares en Afrique tropicale. Les plantes de riz sont laissées à sécher au champ, ou liées en bottes pour être battues sur une aire choisie à cet effet.

Rendements Les rendements moyens sont de 1,4 t/ha en Afrique tropicale et de 4,1 t/ha en Asie, tandis que la moyenne mondiale générale est de 4,0 t/ha. Les rendements sont habituellement plus élevés pendant la saison sèche que pendant la saison humide, et plus élevés pour le riz de basses terres que pour le riz pluvial. Les rendements en riz pluvial vont de 0,5 à 1,5 t/ha en Afrique tropicale mais en Amérique latine ils peuvent atteindre 4 t/ha. Le riz pluvial de basses terres est plus productif que le riz d'altitude, mais pendant les années de sécheresse ou d'inondation, il peut subir une diminution drastique. Dans une région de production de riz pluvial de basses terres sur casiers endigués en Tanzanie, les rendements atteignent 3–4 t/ha dans les bonnes années, mais ils peuvent tomber à 0,5 t/ha lors des mauvaises années. Les rendements du riz de basses terres irrigué en Afrique tropicale sont généralement de 3–6 t/ha. Ceux des régions à riz flottant sont généralement faibles (0,6–1,2 t/ha), mais ils sont plus stables que ceux des zones de riz pluvial d'Afrique tropicale.

Traitement après récolte Le battage s'effectue en général à la main ; on frappe les bottes sur une pierre ou un tambour, ou bien on bat les panicules avec des bâtons en bois sur une toile. Toutefois, les batteuses motorisées ou à pédales remportent la faveur des cultivateurs. Le vannage se fait d'habitude en secouant le grain et en le faisant sauter sur un plateau tressé à bord étroit. On se sert parfois de tarares manuels. Après vannage, on fait sécher le grain au soleil et il peut alors être décortiqué ou transporté à la minoterie. Un bon séchage des grains de riz est capital pour éviter la germination et une rapide perte de qualité. Pour le stockage, la teneur optimale en humidité est de 12,5%. Après séchage, le grain de riz se conserve principalement en sacs. Une augmentation de l'acidité des lipides lors d'un mauvais stockage diminue la qualité alimentaire du produit. La température et l'humidité pendant le stockage affectent la qualité du riz. Le riz destiné à l'autoconsommation se conserve non décortiqué, car il est ainsi moins sensible à une détérioration.

Lors de l'usinage du riz, le but est d'éviter de briser les amandes, car des amandes entières déterminent un prix plus élevé. Il y a différentes méthodes d'usinage. Lors de ces opérations, le grain produit environ : 20% de balle, 50% d'amandes entières, 16% d'amandes brisées, et 14% de son et d'issues. Le riz cargo ou riz décortiqué, qu'on nomme généralement riz complet (ou "riz brun"), est ensuite blanchi pour ôter les couches extérieures du grain, avant d'être poli pour produire le riz blanc. Ce blanchiment et ce polissage font disparaître certaines des protéines et une grande partie des lipides, des minéraux et des vitamines, ce qui réduit la valeur nutritionnelle, mais améliore la qualité au stockage et diminue le temps de cuisson. En revanche, l'étuvage des grains (par trempage, ébullition et séchage) avant leur usinage améliore leur valeur nutritive, mais il reste rare en Afrique tropicale.

Ressources génétiques La prospection des ressources génétiques des espèces africaines de riz sauvage et cultivé a débuté en 1959 à l'initiative de chercheurs japonais, attirés par leur grande diversité. Les premières collections de ressources génétiques de riz en Afrique de l'Ouest ont été constituées dans les stations de recherche de Rokupr, en Sierra Leone, et de Badeggi, au Nigeria. Par la suite, ce sont les

instituts de recherche français ORSTOM et IRAT qui ont collecté du matériel génétique en provenance des pays francophones, et l'IITA, à Ibadan au Nigeria, qui a fait de même surtout dans les pays anglophones. Ces collections ont ensuite été fusionnées avec près de 15 000 entrées par l'ADRAO, à Bouaké en Côte d'Ivoire. La plupart de ces entrées sont également disponibles dans la Collection internationale de ressources génétique du riz, à l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) de Los Baños, aux Philippines, où se trouve la plus grande collection d'*Oryza sativa*, avec près de 86 000 entrées, caractérisées sur la base de quelque 80 caractères. Ces caractères concernent non seulement des caractéristiques morphologiques, mais également la sensibilité aux maladies et ravageurs, ainsi que la réaction aux stress environnementaux, aux carences minérales ou à des toxicités. De vastes collections de ressources génétiques d'*Oryza sativa* sont également détenues en Chine (China National Rice Research Institute, Huangzhou, 70 000 entrées) et en Inde (National Bureau of Plant Genetic Resources, New Delhi, 26 000 entrées). En dehors de l'ADRAO, il existe en Afrique tropicale d'importantes collections : au Nigeria, celle de l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, 9400 entrées, et celle du National Cereals Research Institute, Badeggi, 3500 entrées ; à Madagascar, celle du Département de recherches agronomiques de la République malgache, Antananarive, 2000 entrées. On met l'accent sur la collecte des riz sauvages, qui pourraient constituer de nouvelles sources de gènes importants.

Sélection Les rendements en grains dans les tropiques ont énormément augmenté depuis le milieu des années 1960 lorsque 'IR8' et d'autres cultivars semi-nains ont été introduits, qui ne versent pas facilement et permettent des apports élevés en engrais azotés. En Afrique tropicale, ces cultivars de la révolution verte sont surtout utilisés pour le riz irrigué produit avec une alimentation en eau maîtrisée. En Afrique, l'amélioration génétique du riz a porté surtout sur la riziculture pluviale. Cela a débouché sur les cultivars 'New Rice for Africa' ('NERICA'), percée majeure de l'ADRAO au début des années 1990. Fruit d'un croisement réussi entre *Oryza glaberrima* et *Oryza sativa*, les 'NERICA' combinent une tolérance supérieure à une eau profonde d'*Oryza glaberrima*, ainsi qu'à la sécheresse, aux adventices, à la piriculariose et à la mouche à yeux pédonculés, avec la meilleure productivité en grains d'*Oryza sativa* et à un moindre égrenage. Les 'NERICA' ont été bien adoptés par les paysans, non seulement en raison de leurs caractéristiques de croissance, mais aussi pour la qualité de leur grain et leur valeur nutritive. De plus ils conviennent bien à une agriculture à faibles intrants. Les travaux de sélection de l'ADRAO sur les cultivars de basses terres ont débouché sur la commercialisation de cultivars ayant un meilleur rendement en grains, une résistance à la piriculariose et au virus de la marbrure jaune du riz, ainsi qu'une tolérance à la sécheresse et à la toxicité ferrique. Le cultivar amélioré 'Sahel 108', commercialisé en 1994 par l'ADRAO, a un cycle cultural court, ce qui dans les systèmes de riziculture irriguée du Sahel permet de faire une double récolte. Les espèces sauvages d'*Oryza*, telles que *Oryza barthii*, *Oryza longistaminata* et *Oryza punctata* offrent des gènes de résistance utiles à divers stress biotiques et abiotiques. Par exemple, on a réussi à transférer la résistance à la bactériose des feuilles d'*Oryza longistaminata*.

Les techniques de biotechnologie employées dans l'amélioration génétique du riz font notamment appel à la culture de tissus, à la biologie moléculaire et au génie génétique. Deux techniques de culture de tissus, le sauvetage d'embryons et la culture d'anthères, ont déjà fait des contributions importantes. Des cartes de liaisons génétiques saturées sur la base de marqueurs moléculaires ont été mises au point pour le riz, à l'aide de croisements entre des cultivars du Groupe Indica et du Groupe Japonica, ou entre *Oryza sativa* et *Oryza longistaminata*. Ces cartes ont rendu possible l'identification de QTL pour de nombreux caractères utiles, comme la résistance aux maladies et la tolérance à la sécheresse. On dispose désormais de plus de 3000 marqueurs moléculaires, ce qui fait du riz l'espèce cultivée la mieux caractérisée. Les travaux de séquençage de la totalité du génome du riz viennent de s'achever il y a peu. La contribution la plus innovante de la biotechnologie sera probablement l'ajout de transgènes au pool génétique du riz grâce au génie génétique. Un exemple est le 'Golden Rice', un riz enrichi à la vitamine A. Mais on ne sait pas bien si ce riz génétiquement modifié aura de bons rendements, s'il sera sensible aux maladies et aux ravageurs ou s'il aura bon goût. Plusieurs gènes de toxine insecticide issus de *Bacillus thuringiensis* (Bt) ont été transférés au riz, et des plantes contenant des gènes Bt ont montré une résistance appréciable aux foreurs des tiges et aux enrouleuses des feuil-

les. Récemment, un riz transgénique conférant une résistance au rhizoctone a été obtenu. Le génie génétique est une technologie relativement nouvelle et en matière de biosécurité, on s'inquiète principalement de la dissémination de transgènes par le pollen depuis le riz transgénique vers les autres cultivars de riz et les espèces sauvages.

Perspectives A l'heure actuelle, on estime que sur les 200 millions d'hectares de zones humides d'Afrique tropicale, seulement 2% sont utilisés par la riziculture de basses terres. Par conséquent, l'un des grands défis qui se posent au riz en Afrique tropicale est l'utilisation du vaste potentiel d'expansion de la riziculture de basses terres. L'amélioration génétique devrait mettre l'accent sur les écosystèmes du riz de basses terres, dont le potentiel de production est plus élevé que celui du riz pluvial, par exemple en sélectionnant des hybrides entre *Oryza sativa* et *Oryza glaberrima* destinés à la riziculture de basses terres. Les nouveaux types proposés devraient être adaptés au milieu et aux méthodes de culture locaux. Pour ce faire, il est souhaitable d'associer les paysans au processus de sélection au moyen de l'évaluation variétale participative (EVP) et de la création variétale participative (CVP). Les travaux de sélection pour l'Afrique tropicale doivent notamment porter sur la tolérance et l'adaptation à la toxicité ferrique, la salinité, l'alcalinité, les sols sulfatés acides, ainsi qu'à des températures extrêmement froides ou chaudes, relativement parlant. En Afrique tropicale, il y a encore largement de quoi faire pour augmenter, intégrer et améliorer l'utilisation des engrais organiques et minéraux, et recourir davantage aux légumineuses, aux bactéries et aux algues bleues fixatrices d'azote. Pour tester la possibilité d'appliquer des méthodes de gestion intégrée de la fertilité du sol (GIFS) à un lieu particulier, le mieux est de passer par les champs-écoles pour paysans. Un recours accru à ces formations est préconisé pour que les méthodes de gestion intégrée des ravageurs (GIR) soient adoptées par un nombre croissant d'exploitations rizicoles en Afrique tropicale. On s'attend encore à des améliorations en matière de mécanisation de la riziculture, en particulier en ce qui concerne le travail du sol, le désherbage, la récolte, le battage et les transformations ultérieures.
Toutes ces suggestions exigent de la recherche qu'elle s'adapte aux conditions locales, que les services de vulgarisation fonctionnent bien, qu'il y ait un soutien des états ainsi qu'une participation active des familles des paysans. Certaines des ces questions font déjà l'objet de recherches.

Références principales Alam, John & Zan, 1985; Buddenhagen & Persley (Editors), 1978; Catling, 1992; Grist, 1986; Lorieux, Ndjiondjop & Ghesquière, 2000; Meertens, Ndege & Lupeja, 1999; Schalbroeck, 2001; Smith & Dilday, 2003; Vergara & de Datta, 1996; Zan, John & Alam, 1985.

Autres références Abo, Sy & Alegbejo, 1998; Burkill, 1994; Catling & Islam, 1999; Chang, 2000; Choudhury & Kennedy, 2004; de Datta, 1981; de Vries & Toenniessen, 2001; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Holland, Unwin & Buss, 1988; Johnson et al., 1997; Jones et al., 1997; Khush, 1997; Latham, 2004; Launert, 1971; Lu, 1999; Neuwinger, 2000; Paul, Southgate & Russell, 1980; Sauvant, Perez & Tran, 2004; Vergara & Chang, 1983; Widjaja, Craske & Wootton, 1996.

Sources de l'illustration Vergara & de Datta, 1996.

Auteurs H.C.C. Meertens
Basé sur PROSEA 10: Cereals.

PANICUM KALAHARENSE Mez

Protologue Bot. Jahrb. Syst. 57: 187 (1921).
Famille Poaceae (Gramineae)

Origine et répartition géographique *Panicum kalaharense* est réparti en Zambie, en Namibie, au Botswana, au Zimbabwe, au Mozambique et en Afrique du Sud.

Usages Les grains de *Panicum kalaharense* sont consommés par les Wambos de Namibie. *Panicum kalaharense* est aussi une herbe de pâturage.

Propriétés En tant qu'herbe de pâturage, *Panicum kalaharense* est signalé comme étant modérément appété quand il est jeune.

Botanique Graminée vivace, robuste, atteignant 2,5 m de haut, en touffe ou avec un rhizome court ; tige (chaume) pubescente à la base. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine densément poilue sur les bords de la partie supérieure ; limbe linéaire, de 20–50 cm × 2–8 mm, acuminé, plat ou enroulé, dur, face supérieure densément recouverte de poils courts. Inflorescence : panicule largement ovoïde de 15–27 cm de long, modérément à fortement ramifiée. Epillet ovoïde, de 3–4 mm de long, à 2 fleurs ; glume inférieure largement ovale, faisant de la moitié jusqu'aux deux tiers de la

longueur de l'épillet, aiguë ou acuminée, 3–5-nervée, glume supérieure 5–9-nervée ; fleur inférieure mâle, lemme 7–9-nervée, paléole bien développée ; fleur supérieure femelle, lemme et paléole claires ou foncées, brillantes ; étamines 3 ; ovaire supère, stigmates 2. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde, comprimé.

Le genre *Panicum* comprend environ 470 espèces réparties essentiellement dans les régions tropicales et subtropicales, certaines espèces s'étendant jusqu'aux régions tempérées. *Panicum kalaharense* a une photosynthèse en C_4.

Ecologie *Panicum kalaharense* est considéré comme résistant à la sécheresse. Il est courant localement dans les savanes, surtout les savanes herbeuses, sur des sols sableux, dans des zones où la pluviométrie annuelle est de 300–600 mm, à 500–1200 m d'altitude. On le trouve aussi en milieu perturbé, par exemple en bordure de routes.

Gestion Les grains de *Panicum kalaharense* sont ramassés dans la nature.

Ressources génétiques et sélection Une petite collection de 3 échantillons de *Panicum kalaharense* est détenue par l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, Ethiopie.

Perspectives *Panicum kalaharense* est une culture vivrière et fourragère locale négligeable, et les choses resteront probablement en l'état. On sait peu de choses sur cette espèce et il faudrait disposer d'informations supplémentaires, notamment sur ses qualités alimentaire et fourragère.

Références principales Clayton, 1989; Gibbs Russell et al., 1990; Launert, 1970.

Autres références Klaassen & Craven, 2003; Schulze et al., 1996.

Auteurs M. Brink

PANICUM LAETUM Kunth

Protologue Révis. gramin. 2: 399, f. 113 (1831).

Famille Poaceae (Gramineae)

Noms vernaculaires Haze, fonio sauvage (Fr). Wild fonio, desert panic (En).

Origine et répartition géographique *Panicum laetum* est réparti depuis la Mauritanie, le Sénégal et la Gambie jusqu'à l'Erythrée, en passant par le sud du Sahara et le Sahel ; il a également été signalé en Tanzanie.

Usages *Panicum laetum* fait partie des "kreb", groupe de graminées que l'on trouve au Sahel et qui sont récoltées dans la nature pour être consommées de façon régulière mais surtout en période de disette ; il passe aussi pour un mets de choix. Les grains de *Panicum laetum* sont écrasés et transformés en bouillies et en gâteaux, et parfois ils sont récoltés sur une échelle suffisamment grande pour être vendus sur les marchés locaux. *Panicum laetum* est très apprécié par les animaux qui le pâturent, et il convient également pour le foin ou l'ensilage. On estime qu'il pourrait permettre de restaurer les pâturages dégradés.

Propriétés Des grains entiers de *Panicum laetum* récoltés au Mali contiennent par 100 g : eau 3,3 g, énergie 1580 kJ (377 kcal), protéines 9,5 g, lipides 4,8 g, glucides 70,8 g, Ca 51 mg et Fe 210 mg. La teneur en acides aminés essentiels de grains entiers par 16 g de N est la suivante : tryptophane 1,3 g, lysine 2,0 g, méthionine 2,6 g, phénylalanine 5,9 g, thréonine 3,7 g, valine 6,0 g, leucine 11,3 g et isoleucine 4,7 g. Des grains décortiqués contiennent par 100 g : eau 1,9 g, énergie 1630 kJ (389 kcal), protéines 12,4 g, lipides 2,2 g, glucides 82,1 g, cendres 1,4 g, Ca 13 mg et Fe 24 mg. La teneur en acides aminés essentiels de grains décortiqués par 16 g de N est la suivante : tryptophane 1,4 g, lysine 1,3 g, méthionine 2,6 g, phénylalanine 6,3 g, thréonine 3,6 g, valine 6,0 g, leucine 12,2 g et isoleucine 5,1 g (Beseth Nordeide, Holm & Oshaug, 1994). L'acide aminé le plus limitant est la lysine.

Des plantes de *Panicum laetum* à mi-floraison au Niger contiennent : protéines brutes 14,3%, fibres brutes 28,8%, lipides bruts 1,8%, extraits sans azote 42,9%, Ca 0,30%, Mg 0,28% et P 0,42%.

Botanique Graminée annuelle, en touffe, atteignant 75 cm de haut ; tige (chaume) mince, érigée ou à géniculée ascendante, ramifiée. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine glabre ou à poils hérissés ; ligule courte, frangée ; limbe linéaire-lancéolé, plat, de 5–25 cm × 5–12 mm, acuminé, généralement glabre, bord lisse ou à poils hérissés sur la partie inférieure. Inflorescence : panicule ovoïde de 6–20 cm de long, fortement ramifiée, rameaux primaires ascendants ou étalés, rameaux secondaires et pédicelles minces. Epillet étroitement ellipsoïde, de 2,5–3 mm × 1,5 mm, aigu, généralement vert pâle, à 2 fleurs ; glume inférieure ovale, faisant environ la moitié de la longueur de l'épillet, 5–7-nervée, aiguë, glume supérieure elliptique, 7–11-nervée, aiguë ; fleur inférieure stérile, lemme 9–11-nervée, paléole presque de même longueur, fleur supérieure bisexuée, lemme étroitement ovale, aiguë, pâle,

lisse, brillante ; étamines 3 ; ovaire supère, stigmates 2. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde de 1,5–2 mm de long, comprimé, jaunâtre.
Le genre *Panicum* comprend environ 470 espèces et est principalement réparti dans les régions tropicales et subtropicales, quelques espèces s'étendant jusqu'aux régions tempérées.

Ecologie On trouve *Panicum laetum* dans des endroits périodiquement humides, dans les savanes herbeuses, les fossés, en bordure des étangs et des rivières, souvent sur des sols d'argile noire. Il n'est pas particulièrement xérophile. En Afrique de l'Ouest, *Panicum laetum* forme souvent des peuplements très étendus, presque purs. En Tanzanie, on le trouve à 1000–1300 m d'altitude.

Gestion *Panicum laetum* est multiplié par graines. La température optimale pour la germination des graines est 35°C. La scarification ou l'élimination de la lemme et de la paléole du grain améliore considérablement la germination. En Afrique de l'Ouest, on récolte *Panicum laetum* dans la nature en parcourant le site avec une calebasse, un bol ou une corbeille lorsque les épis sont prêts à s'égrener. Les oiseaux *Quelea* sont friands des grains de *Panicum laetum*.

Ressources génétiques et sélection Une collection de 25 entrées de *Panicum laetum* est détenue par l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, Ethiopie. Compte tenu de l'étendue de sa répartition et de son abondance, *Panicum laetum* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Panicum laetum* a une certaine importance dans les zones marginales et offre des possibilités pour restaurer les herbages surpâturés. Il est recommandé de sélectionner des souches améliorées pour la production céréalière et fourragère.

Références principales Beseth Nordeide, Holm & Oshaug, 1994; Burkill, 1994; Naegele, 1977; National Research Council, 1996; Phillips, 1995.

Autres références Bartha, 1970; Clayton, 1972; Harlan, 1989b; Keith & Plowes, 1997; le Grand, 1979; van der Hoek & Jansen, 1996a; Veldkamp, 1996b; Veldkamp, Wijs & Zoetemeyer, 1989.

Auteurs M. Brink

PANICUM MILIACEUM L.

Protologue Sp. pl. 1: 58 (1753).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 36$
Noms vernaculaires Millet commun, kibi (Fr). Proso millet, common millet, hog millet (En). Milho miúdo, milho de canario (Po).

Origine et répartition géographique Le millet commun est cultivé depuis très longtemps. Son origine reste incertaine, mais il a probablement été domestiqué en Asie centrale et orientale, où il est cultivé depuis plus de 5000 ans. Le millet commun a longtemps été une culture très importante dans le nord de la Chine. A l'âge du Bronze, il s'est répandu partout en Europe, y compris les régions septentrionales où le panis (*Setaria italica* (L.) P.Beauv.), très sensible au froid, ne pouvait pas être cultivé. En Europe, on en a découvert des restes dans des implantations agricoles remontant à près de 3000 ans. Le millet commun était le "milium" des Romains et le vrai millet auquel l'histoire fait référence. Il fut introduit en Amérique du Nord après l'arrivée de Christophe Colomb. En Europe et aux Etats-Unis, la faveur dont il jouissait comme céréale déclina après l'introduction à grande échelle de la pomme de terre et du maïs.
De nos jours, le millet commun est cultivé pour la consommation humaine essentiellement en Asie orientale et centrale et dans une moindre mesure en Europe orientale (en Russie et dans la région du Danube) et depuis l'Asie occidentale jusqu'au Pakistan et à l'Inde (dans le Bihar et l'Andhra Pradesh). Il est parfois cultivé dans d'autres régions d'Europe et d'Asie et en Amérique du Nord, où il est surtout une source



Panicum miliaceum – planté

de nourriture pour les oiseaux de volière et les volailles ainsi que comme fourrage. En Afrique tropicale, il est cultivé en Ethiopie, à l'est du Kenya, au Malawi, au Botswana, au Zimbabwe et à Madagascar. Il est également signalé au Lesotho. Il semblerait que son importance au Kenya ait décliné depuis les années 1950, par suite de l'avancée de la culture du maïs. Largement naturalisé, le millet commun est parfois une mauvaise herbe gênante, par ex. aux Etats-Unis et en Russie.

Usages Les grains de millet commun décortiqués se mangent entiers, cuits à l'eau comme du riz, ou grillés. On en fait aussi des bouillies, et leur farine sert à préparer des pains plats ou des chapattis. Seule la farine des types riches en gluten peut être utilisée pour faire des pains levés et des gâteaux ; la farine des autres types doit être mélangée à de la farine de blé. En Chine, où la farine de millet commun sert à faire du pain, on préfère les cultivars à albumen glutineux (cireux). En Mongolie, les grains se cuisent comme du riz et ce sont des cultivars non glutineux qui sont cultivés. En Ethiopie, on fait fermenter les grains pour préparer une sorte de boisson (le "tella"). Ailleurs, ils servent à confectionner de la bière et de l'eau-de-vie. Les grains servent à nourrir les animaux, porcs, volailles et oiseaux de volière notamment. La plante entière sert de fourrage. Mais la qualité de la paille est médiocre et en Inde on l'utilise plus souvent pour la litière du bétail. On en fait également des balais. L'amidon fourni par les grains servait autrefois à l'apprêt des textiles. Différents usages médicinaux du millet commun ont été répertoriés en Asie ; les graines servent d'adoucissant et de traitement pour les abcès et les furoncles, et des décoctions de tige et de racine se prennent en remède contre l'hématurie.

Production et commerce international Les statistiques de production du millet commun sont peu abondantes parce qu'on les agrège généralement avec celles du mil et des autres millets. La production mondiale moyenne annuelle de millet commun en 1981–1985 a été évaluée à 4,9 millions de t, les principaux producteurs étant l'Union soviétique (2,3 millions de t), la Chine (1,6 million de t) et l'Inde (0,5 million de t). La production annuelle en 1992–1994 a été estimée à 4 millions de t. En Afrique tropicale, la production de millet commun est très faible comparé à celle du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) et de l'éleusine (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.), mais on ne dispose d'aucune statistique.

Par rapport au commerce mondial des céréales, le marché international des divers millets est insignifiant. Il se montait entre 1999–2003 à environ 250 000 t/an. La part du millet commun sur la totalité des échanges de millets a été estimée aux deux-tiers. La majeure partie du millet commun qui entre dans le commerce international est importée par les industries des aliments pour animaux de compagnie des pays industrialisés, où il sert de nourriture aux oiseaux. Etant donné que les rendements sont relativement faibles, le prix du millet sur le marché mondial est généralement plus élevé que celui des autres céréales ; du fait de la taille réduite de son commerce international, les prix sont instables.

Propriétés Le millet commun contient par 100 g de partie comestible : eau 8,6 g, énergie 1582 kJ (378 kcal), protéines 11,0 g, lipides 4,2 g, glucides 72,9 g, fibres alimentaires 8,5 g, Ca 8 mg, Mg 114 mg, P 285 mg, Fe 3,0 mg, Zn 1,7 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,42 mg, riboflavine 0,29 mg, niacine 4,7 mg, vitamine B_6 0,38 mg, folates 85 µg, acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est : tryptophane 119 mg, lysine 212 mg, méthionine 221 mg, phénylalanine 580 mg, thréonine 353 mg, valine 578 mg, leucine 1400 mg et isoleucine 465 mg. Les principaux acides gras sont (par 100 g de partie comestible) : acide linoléique 2015 mg, acide oléique 739 mg, acide palmitique 528 mg, acide stéarique 145 mg et acide linolénique 118 mg (USDA, 2004). Les grains ont un contenu en fibres indigestes relativement élevé, parce que les graines sont enfermées dans des enveloppes que les procédés classiques de meunerie réussissent mal à ôter. Le grain de millet commun décortiqué a une saveur qui rappelle un peu la noisette.

On considère que les cultivars non glutineux de millet commun conviennent au régime alimentaire des personnes souffrant de maladies cœliaques. Des essais sur des rats indiquent que les protéines de millet commun pourraient servir d'aliment préventif contre certains types d'hépatite. On a découvert que le millet commun provoquait des réactions allergiques chez les personnes qui ont des oiseaux.

Description Graminée annuelle érigée atteignant 1,2(–1,5) m de haut, le plus souvent tallant abondamment et poussant en touffe, à système racinaire assez superficiel ; tige cylindrique, simple ou modérément ramifiée, glabre à diversement poilue. Feuilles alternes, simples ; gaine diversement poilue ; ligule mem-



Panicum miliaceum – 1, partie supérieure de chaume en fleurs du type à inflorescence lâche ; 2, branche d'inflorescence du type à inflorescence lâche ; 3, partie supérieure de chaume en fleurs du type à inflorescence compacte ; 4, branche d'inflorescence du type à inflorescence compacte ; 5, grains.
Source: PROSEA

braneuse d'environ 1 mm de long, ciliée ; limbe linéaire-lancéolé, de 10–42 cm × 0,5–2,5 cm, diversement poilu, à 3–6 nervures de part et d'autre de la nervure médiane. Inflorescence : panicule mince de 10–30(–45) cm × 5–15 cm, lâche ou compacte, érigée ou retombante. Epillets solitaires, pédicellés, ovoïdes-ellipsoïdes, de 4–6 mm de long, à 2 fleurs, glabres ; glumes inégales, glume supérieure aussi longue que l'épillet, à nervures nombreuses ; fleur inférieure stérile, fleur supérieure bisexuée et à lemme et paléole épaisses et larges (d'environ 2 mm), lodicules 2, étamines 3 et ovaire supère à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain), largement ovoïde, atteignant 3 mm × 2 mm, lisse, diversement coloré mais souvent blanc, enfermé dans la lemme et la paléole persistantes, et s'égrenant facilement.

Autres données botaniques Le genre *Panicum* est vaste et comprend environ 470 espèces, qui se rencontrent principalement dans les régions tropicales et subtropicales, certaines espèces allant jusqu'aux régions tempérées. *Panicum miliaceum* est une espèce complexe qui comporte des types aussi bien sauvages que cultivés. Dans la littérature, les deux groupes suivants ont été classés comme des sous-espèces : subsp. *ruderale* (Kitag.) Tzvelev qui regroupe tous les types spontanés, sauvages et adventices, et subsp. *miliaceum* qui comprend les types cultivés. Ces derniers ont parfois été classés dans un groupe de cultivars : le Groupe Millet commun. Les types sauvages possèdent des panicules lâches, des épillets à pédicelle généralement articulé et des lemmes étroites, tandis que les types cultivés ont des panicules soit lâches soit comprimées, des épillets à pédicelle non articulé et des lemmes plus larges. Le véritable type sauvage est originaire de la Chine centrale et on le considère comme l'ancêtre des types cultivés. Dans les régions tempérées d'Europe, d'Asie et des Etats-Unis, on trouve cependant des types sauvages qui diffèrent du type sauvage chinois, qui proviennent probablement des types cultivés et qui ont retrouvé leur capacité à disperser naturellement leurs semences, se répandant comme des adventices.
Le millet cultivé comprend de nombreux cultivars et variétés locales ; 5 groupes ont été distingués, principalement sur la base de la taille et de la morphologie des inflorescences. Au sein de ces groupes, les cultivars se distinguent surtout par la couleur des grains (qui varie largement, de blanc à jaune, brun, rouge, jusqu'à quasiment noir) et par leur adaptation écologique.

Croissance et développement Le millet commun mûrit en 45–90 jours. La levée des plantules se fait habituellement en 4–8 jours après le semis. C'est au cours de la phase végétative, généralement achevée en 16–20 jours après le semis, que le tallage a lieu et que les primordia de l'inflorescence sont initiés. A partir de là, il faut 20–25 jours à la plante pour fleurir sur la tige principale, mais cette période est un peu moins longue lorsque les températures sont élevées. La floraison s'accompagne d'une augmentation de la surface foliaire et d'un rapide allongement des entrenœuds de la tige. Le nombre de feuilles de la tige principale n'est pas le même selon les cultivars, mais chacun produit un nombre fixe de feuilles avant la floraison. Celle-ci se fait de haut en bas. Les fleurs sont normalement autofécondées, mais la fécondation croisée dépasse souvent les 10%. La période qui va de la floraison à la maturité des grains dure environ 20–30 jours et ne varie pratiquement pas d'un cultivar à l'autre. A la

maturité du grain, la partie inférieure de l'inflorescence ainsi que la tige et les feuilles sont encore vertes. Le millet commun a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Bien qu'il s'agisse d'une plante de régions tempérées, le millet commun possède une vaste capacité d'adaptation et on peut le cultiver dans des climats trop chauds et trop secs et sur des sols qui sont trop superficiels et trop pauvres pour d'autres céréales. Il se cultive plus au nord que tout autre millet, sa limite étant l'isotherme de juin de 17°C et l'isotherme de juillet de 20°C. Dans l'Himalaya, il est cultivé comme céréale jusqu'à 3000 m d'altitude. Il est sensible au gel. Le millet commun est parmi les céréales qui ont les plus faibles besoins en eau. Une pluviométrie annuelle moyenne de 200–450 mm lui suffit, mais 35–40% des précipitations doivent tomber pendant la période de croissance. La plupart des sols conviennent au millet commun, à l'exception du sable grossier.

Multiplication et plantation Le millet commun se reproduit par graines. Le poids de 1000 graines est de (4,7–)5(–7,2) g. Les graines de millet germent bien à des températures de 10–45°C, les meilleurs résultats étant obtenus entre 35°C et 40°C. Les graines se sèment à la volée ou en lignes espacées de 20–25 cm et à une distance de 7,5 cm sur la ligne. Ceci correspond à une densité de semis de 8–12 kg/ha. Au Kenya, la densité de semis recommandée pour la plantation en sillons est de 4 kg/ha, en laissant 30 cm entre les lignes et 10 cm entre plantes sur la ligne. Le lit de semis doit être humide, bien ferme et débarrassé des mauvaises herbes. Pour obtenir une germination optimale, il faut faire tremper les semences dans l'eau pendant 24 heures et les planter à 4 cm de profondeur maximum. En Inde, on pratique parfois le repiquage. Il est moins important de semer le millet commun tôt dans la saison des pluies que pour des céréales comme le sorgho et le mil, parce qu'un semis tardif n'entraîne qu'une faible perte de rendement. Habituellement, le millet est cultivé en culture pure, mais on peut l'associer à d'autres céréales ou à des légumes secs.

La régénération du millet commun in vitro est possible en milieu de Murashige et Skoog, en utilisant des embryons excisés, des apex de rameaux ou des segments de jeunes inflorescences.

Gestion Les premières semaines qui suivent le semis sont critiques dans la culture du millet commun, car la croissance initiale est lente, ce qui rend la compétition avec les adventices difficile. Au Kenya, il est recommandé de procéder à un premier désherbage au bout de 2–3 semaines après la levée et à un second 2 semaines plus tard. On sait peu de choses sur la façon dont le millet réagit aux engrais. En Inde, les doses d'engrais recommandées sont de 20–40 kg N, 20 kg P et 0–20 kg K par ha. Le millet est habituellement une plante de culture pluviale, mais en Inde il est parfois irrigué. En Russie, sa culture se fait généralement en rotation avec une graminée fourragère, du blé ou de l'orge. Au Bangladesh, la rotation peut se faire avec un légume sec, du blé, du jute, du riz, des pommes de terre ou un *Brassica*.

Maladies et ravageurs Le millet commun est relativement peu sujet aux maladies et ravageurs. La maladie la plus importante est le charbon (*Sphacelotheca destruens* et *Ustilago* spp.). Parmi les mesures de lutte, il faut citer le traitement des semences avec des fongicides (sulfate de cuivre) et la rotation des cultures. Les autres maladies répertoriées sont l'anthracnose (*Colletotrichum graminicola*), la piriculariose (*Pyricularia grisea*), le mildiou (*Sclerospora graminicola*), l'ergot (*Claviceps* spp.), la rouille (*Puccinia* et *Uromyces* spp.), l'helminthosporiose (*Helminthosporium* sp.) et la pourriture du collet (*Sclerotium rolfsii*). La bactérie *Xanthomonas holcicola* peut provoquer la mélanopathie, un brunissement de l'albumen.

Le millet commun peut être la proie des asticots de la mouche du millet (*Atherigona miliaceae*), qui font de gros dégâts en s'attaquant au point de croissance. L'infestation, qui commence généralement au stade du semis, peut aussi survenir chez des plantes plus âgées. Des lignées tolérantes ont été identifiées en Inde. Parmi les autres ravageurs qui peuvent être gênantes, il faut citer les foreurs des tiges (*Chilo partellus*, *Chilo suppressalis* et *Sesamia inferens*), des moucherons, des punaises, des légionnaires, des sauterelles et des termites. Les oiseaux et les rats peuvent aussi détruire une partie considérable de la récolte.

Récolte Le millet commun est prêt à être récolté lorsque la graine atteint une teneur en eau de 14–15%. Il faut éviter de récolter tard car les épis s'égrènent facilement si on les laisse trop mûrir. Mais une récolte prématurée aboutit par ailleurs à une diminution de rendement et de qualité. Les plantes se récoltent habituellement par arrachage et on procède immédiatement au battage pour éviter toute perte de grains. Si la récolte a lieu pendant la saison des pluies, lorsque l'humidité relative

est élevée, les grains doivent être séchés jusqu'à un taux d'humidité de 14%. A la maison, ce séchage se fait généralement au-dessus du feu.

Rendements Les rendements moyens du millet en culture pluviale sont de 400–700 kg/ha. Avec des pluies suffisantes et un sol fertile, ou avec une irrigation et des apports en engrais, on a obtenu des rendements de plus de 2 t/ha. Le taux d'extraction en meunerie est de 70–80%.

Traitement après récolte Le grain de millet commun se conserve bien pendant 5 ans. Sa petite taille le met à l'abri des insectes. En Inde, il est conservé dans des greniers aux parois d'argile ou dans des jarres ; le grain est parfois mélangé à de la cendre ou brièvement passé au four avant d'être stocké. Il doit être conservé à une teneur en eau de 13% maximum.

Ressources génétiques Les plus grandes collections de ressources génétiques de *Panicum miliaceum* sont détenues en Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg ; environ 9000 entrées), en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS) de Pékin, environ 7500 entrées) et en Ukraine (5000 entrées à l'Institute of Plant Production de Kharkiv ; 3500 entrées à l'Ustimovskaya Experimental Station for Plant Cultivation d'Ustimovka). En Afrique tropicale, des entrées sont détenues au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu). En Chine, on évalue les ressources génétiques du millet commun pour la résistance au charbon, la tolérance au sel et les qualités nutritionnelles. Sur les 4200 entrées décrites en Chine, 53% étaient non glutineuses.

Sélection Au Kenya, des travaux de sélection ont été menés sur des lignées locales et des lignées obtenues auprès de l'ICRISAT. Le cultivar recommandé au Kenya est 'KAT/PRO-1', mis au point par le Kenya Agricultural Research Institute (KARI). Il a été sélectionné à partir de 'N40101', une introduction provenant de l'ancienne Union soviétique et reçue par l'intermédiaire de l'ICRISAT. 'KAT/PRO-1' a été obtenu en sélectionnant des individus à talles érigées, grandes inflorescences et gros grains, puis en appliquant des cycles répétés de sélection massale sur la descendance pour les mêmes caractères et un potentiel élevé de rendement. Ce cultivar est autogame et possède une inflorescence ouverte et des grains de couleur crème. Il a la faculté de s'arrêter de croître lorsqu'il est soumis à un fort stress hydrique, mais il repart vite et se remet à pousser dès que l'origine du stress disparaît. Il peut se cultiver jusqu'à 2000 m d'altitude, atteindre 80 cm de haut, fleurir en 40–50 jours, et mûrir en 65–80 jours, en fonction de l'altitude et de la saison. Le rendement moyen de 'KAT/PRO-1' était de 1400 kg/ha, ce qui représente 50% de plus que la moyenne des cultivars locaux.
Les programmes d'amélioration en Inde et en Russie visent une productivité plus élevée (résistance à la sécheresse et précocité ou tardiveté), la résistance aux maladies (en particulier au charbon) et la qualité du grain (taille et forme uniformes, albumen jaune à forte teneur en caroténoïdes). La principale méthode d'amélioration employée en Russie est l'hybridation intraspécifique. La morphologie florale du millet commun (petites fleurs enserrées par la lemme et la paléole) rend difficile la castration avant l'anthèse et le croisement artificiel, mais des techniques ont été mises au point aux Etats-Unis, et depuis 1984 plusieurs cultivars ont été mis sur le marché. Aux Etats-Unis, les efforts d'amélioration portent sur la production de cultivars à haut rendement, à récolte plus facile et à gros grains. De plus, des génotypes à amidon cireux (qui servent à faire un pain cuit à la vapeur en Asie du Sud-Est) sont actuellement mis au point pour élargir le potentiel d'exportation du millet aux Etats-Unis.
Le croisement interspécifique de *Panicum miliaceum* avec plusieurs autres espèces de *Panicum* a donné lieu à des embryons anormaux, qui ont pu être sauvés par la culture d'ovaires in vitro. La stérilité du pollen de la descendance hybride pourrait en partie être surmontée par une multiplication in vitro.

Perspectives La production du millet commun est en déclin et dans l'alimentation humaine cette espèce est remplacée par d'autres céréales, notamment le riz, le blé et le maïs. Mais il demeurera un aliment de base important dans les régions semi-arides, où les autres céréales ne peuvent pratiquement pas être cultivées. Le millet est considéré comme une culture précoce potentiellement utile pour les régions sèches de l'Afrique tropicale, qui peut combler la période de soudure avant la récolte des céréales principales. Les inconvénients principaux sont les faibles bénéfices dus aux besoins élevés en main-d'œuvre (surtout pour éloigner les oiseaux, mais aussi pour semer et désherber), les faibles rendements, le peu d'usages alternatifs, les habitudes alimentaires existantes, ainsi qu'un manque d'information sur cette culture. Des mesures destinées à ré-

duire le tallage, telle que la diminution de la distance entre les lignes, donnent une maturité plus homogène et réduisent les besoins en main-d'œuvre pour éloigner les oiseaux. Le marché à l'export pour les millets en général va rester limité, parce que les prix ont tendance à être trop élevés par rapport à ceux des autres céréales. Mais le développement des marchés de niche, comme celui de l'amidon cireux pour les marchés asiatiques, pourrait accroître le potentiel à l'export du millet commun.

Références principales Cardenas, Nelson & Neild, 1984; FAO, 1995; Fröman & Persson, 1974; Hulse, Laing & Pearson, 1980; Ministry of Agriculture and Rural Development, 2002; M'Ragwa & Watson, 1994; Penninkhoff, 1984; Riley et al. (Editors), 1993; Seetharam, Riley & Harinarayana, 1990; van der Hoek & Jansen, 1996b.

Autres références Bajaj, Sidhu & Dubey, 1981; Baltensperger, 1996; Baltensperger, 2002; Bohle et al., 2003; CSIR, 1966; de Wet, 1995c; Douglas, 1974; Gibberd, 1996; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Haq, 1989; ICRISAT & FAO, 1996; Kashin et al., 1997; M'ragwa & Kanyenji, 1987; Nelson, 1984; Nishizawa et al., 2002; Petr et al., 2003; Purseglove, 1972; Seetharam, 1998; USDA, 2004; Veldkamp, 1996b.

Sources de l'illustration van der Hoek & Jansen, 1996b.

Auteurs R.N. Kaume

Basé sur PROSEA 10: Cereals.

PANICUM TURGIDUM Forssk.

Protologue Fl. aegypt.-arab. : 18 (1775).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 18, 36, 54$

Noms vernaculaires Desert grass, turgid panic grass (En).

Origine et répartition géographique *Panicum turgidum* est réparti depuis la Mauritanie et le Sénégal jusqu'au Soudan, à l'Ethiopie, à l'Erythrée et à la Somalie, en passant par le Sahara et le Sahel. On le trouve aussi dans tout le nord de l'Afrique et en Asie occidentale jusqu'au Pakistan et en Inde.

Usages *Panicum turgidum* fait partie des "kreb", groupe de graminées que l'on trouve dans la zone sahélienne et qui sont récoltées dans la nature pour être consommées de façon régulière mais surtout en période de disette. Autrefois, les grains de *Panicum turgidum* étaient récoltés en grandes quantités, alors qu'aujourd'hui cette pratique est assez rare. On transforme surtout les grains en bouillie. Ils peuvent également être écrasés et consommés ainsi sans aucune forme de préparation ("tebik").

A Djibouti, on consomme les jeunes pousses qui seraient sucrées. A l'état vert, *Panicum turgidum* est consommé par tout le bétail ; une fois sec, uniquement par les chameaux et les ânes. Les tiges servent à couvrir les toits de chaume et à fabriquer des nattes, des paniers et des cordes. Les Tamacheks du Niger utilisent la paille tissée comme trame, l'entrelaçant de fins fils de cuir en guise de chaîne, pour en faire des nattes qui ne peuvent être roulées que dans un sens. Les nattes de *Panicum turgidum* ont été utilisées comme linceuls. Au Sahara, les chaumes servent de combustible. La cendre de la plante est mâchée en mélange avec du tabac, et dans le sud de l'Algérie, la poudre de tiges moulues sert de pansement. En Mauritanie, on prête aux grains des propriétés antidiabétiques. *Panicum turgidum* a quelquefois été utilisé pour la fixation des dunes en zones arides.

Propriétés L'appétissance des feuilles de *Panicum turgidum* est faible, mais suffisante pour les chameaux et les ânes, et lorsqu'elles sont jeunes, pour les moutons et les chèvres. A en croire les bouviers du Niger, le lait commence à dégager une odeur fétide 2–3 jours après que les vaches ont pâturé *Panicum turgidum*. Au battage, les grains se séparent des glumes tout en restant vêtus de la paléole et de la lemme résistantes.

Botanique Graminée vivace fortement ramifiée, glauque, formant de grosses touffes arrondies atteignant 1,5(–2) m de haut et de large, avec un gros rhizome et un système racinaire fibreux atteignant 2 m de profondeur et s'étalant latéralement jusqu'à 3,5 m ; tige (chaume) érigée ou ascendante, ligneuse, formant des racines sur les nœuds. Feuilles alternes, simples et entières ; limbe linéaire-lancéolé, jusqu'à 20(–30) cm × 7 mm, souvent beaucoup plus court que la gaine, plat, replié ou enroulé, rigide et épineux. Inflorescence : panicule modérément ramifiée, pyramidale, de 2,5–15(–30) cm × 5–9 cm, lâche, rameaux primaires distants, devenant étalés. Epillet ovoïde, de 3,5–4,5(–5) mm de long, aigu ou acuminé, gonflé, glabre, s'échancrant souvent à l'anthèse, à 2 fleurs ; glumes largement ovales, aiguës à acuminées, la glume inférieure légèrement plus courte que l'épillet, 5–9-nervée, la glume supérieure 7–9-nervée ; fleur inférieure mâle, à lemme 9–11-nervée, à paléole bien développée ;

fleur supérieure bisexuée, à lemme pâle ou jaunâtre, lisse, brillante ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates. Fruit : caryopse (grain) d'environ 2 mm de long, rougeâtre.
Le genre *Panicum* comprend environ 470 espèces, réparties essentiellement dans les régions tropicales et subtropicales, quelques espèces s'étendant jusqu'aux régions tempérées.
La reproduction naturelle de *Panicum turgidum* se fait essentiellement de manière végétative par stolons. En zones sèches, les bourgeons dormants s'ouvrent rapidement dès le début de la saison des pluies, et les plantes demeurent vertes pendant une très longue période, la floraison intervenant vers la fin de la saison des pluies et en début de saison sèche. Les graines de *Panicum turgidum* mûrissent à des moments différents qui s'échelonnent sur une longue période, elles s'égrènent facilement et sont souvent mangées par les oiseaux. *Panicum turgidum* a une photosynthèse en C_4.

Ecologie *Panicum turgidum* est très xérophile, et pousse dans des régions où les précipitations annuelles sont de 200–250 mm, ou parfois moins encore. On le trouve jusqu'à 3200 m d'altitude, dans les déserts et semi-déserts sablonneux, sur les dunes et en bordure de mer, de même que dans des poches sablonneuses sur les affleurements rocheux. *Panicum turgidum* est une plante importante des déserts arabo-sahariens qui retient le sable et forme ainsi des monticules, et se trouve parfois en peuplements presque purs. Au Soudan, il est dominant sur des sols où les criquets pondent leurs œufs, et sert de nourriture aux jeunes insectes. *Panicum turgidum* tolère les sols salins.

Gestion *Panicum turgidum* n'est pas cultivé en tant que céréale, mais récolté dans la nature. Il est parfois protégé du pâturage jusqu'à la fin de la récolte des grains, par ex. dans le sud de l'Algérie et dans le nord du Mali. Les panicules sont frappées avec un bâton pour en faire tomber les grains. Au Niger, on les frotte entre les mains. *Panicum turgidum* peut être multiplié par graines ou par éclats de rhizome. Les graines ne germent pas en dessous de 15°C et doivent être semées en surface. La germination est optimale à 25–35°C. Le repiquage de plants est possible.

Ressources génétiques et sélection Une collection de 42 entrées de *Panicum turgidum* est détenue à l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, Ethiopie. C'est essentiellement au Proche-Orient que l'on trouve des types à fort rendement en grains. Grâce à l'étendue de sa répartition et à son abondance, *Panicum turgidum* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Panicum turgidum* a beaucoup de valeur en tant que graminée résistante à la sécheresse utile pour fixer le sable et en alimentation humaine et animale. Il est recommandé d'échantillonner la variabilité existante et d'utiliser les ressources génétiques récoltées dans un programme de sélection pour mettre au point des cultivars supérieurs. Il faut disposer de plus d'informations sur les caractéristiques nutritionnelles du grain.

Références principales Burkill, 1994; Harlan, 1989b; Kernick, 1992; Phillips, 1995; Williams & Farias, 1972.

Autres références Ahmad et al., 1994; Bogdan, 1977; Clayton, 1972; Cope, 1995; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Haroun, 2000; Kernick, 1978; Kiambi, 1999; Naegele, 1977; National Research Council, 1996.

Auteurs M. Brink

PENNISETUM GLAUCUM (L.) R.Br.

Protologue Prodr. : 195 (1810).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 14$
Synonymes *Pennisetum spicatum* (L.) Körn. (1885), *Pennisetum americanum* (L.) Leeke (1907), *Pennisetum typhoides* (Burm.f.) Stapf & C.E.Hubb. (1933).

Noms vernaculaires Mil, mil à chandelle, mil pénicillaire, petit mil (Fr). Pearl millet, bulrush millet, cattail millet (En). Milho zaburro, milho preto, milheto, massango liso (Po). Mwele (Sw).

Origine et répartition géographique Le mil à chandelle a été domestiqué au Sahel il y a 4000–5000 ans à partir de *Pennisetum violaceum* (Lam.) Rich. Il s'est répandu jusqu'en Afrique de l'Est et de là à l'Afrique australe, puis au subcontinent indien, il y a environ 3000 ans. Il a atteint l'Amérique tropicale au XVIII[e] siècle, et les Etats-Unis au XIX[e]. Le mil est une céréale courante des zones semi-arides d'Afrique occidentale et des régions les plus sèches d'Afrique orientale et australe, ainsi que du subcontinent indien. Il se cultive aussi pour le fourrage, par ex. au Brésil, aux Etats-Unis, en Afrique du Sud et en Australie.

Usages Le mil est l'aliment de base de plus d'une centaine de millions de personnes dans certaines parties de l'Afrique tropicale et de l'Inde. Décortiqué et réduit en farine, il se



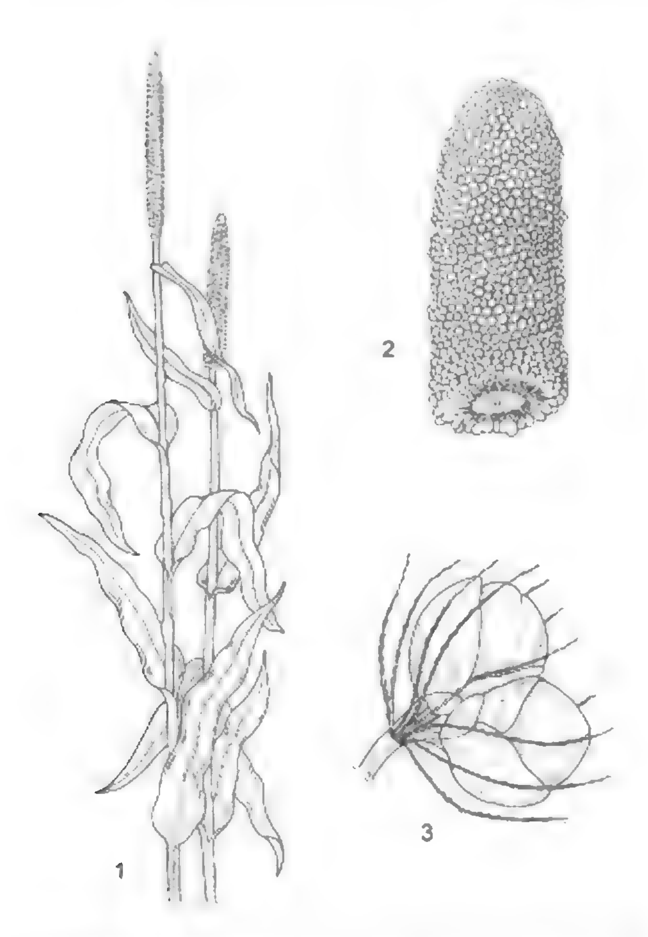
Pennisetum glaucum – planté

consomme sous la forme d'une bouillie consistante (le "tô") ou d'un gruau en Afrique, ou d'un pain non levé (le "chapatti") en Inde. En Afrique, il existe d'autres préparations telles que le couscous, des produits qui rappellent le riz, des amuse-gueule faits de mélanges avec des légumes secs, ainsi que des boissons fermentées et non fermentées. Dans plusieurs préparations en Inde, ce sont les graines grillées que l'on utilise. Les tiges s'emploient couramment dans la fabrication de clôtures, en toiture et en construction, comme combustible et aussi comme fourrage, de qualité médiocre. Les tiges fendues en deux sont utilisées en vannerie. Un colorant pour le cuir et le bois s'obtient à partir des types à fleurs rouges et violettes. En médecine traditionnelle africaine, le grain était jadis appliqué pour soigner les problèmes pulmonaires, la lèpre, la blennorragie et les empoisonnements, et le grain broyé servait de vermifuge pour les enfants. Une décoction de racine se boit pour traiter la jaunisse ; la vapeur d'extraits de l'inflorescence est prise en inhalation par les enfants souffrant de maladies respiratoires. Dans certaines régions, les grains sont utilisés dans des rituels. En dehors de l'Afrique et de l'Inde, le mil se cultive surtout en tant que fourrage vert pour l'ensilage, le foin et la pâture. Depuis que l'on a découvert que le mil était capable de faire disparaître les nématodes des lésions de racines (*Pratylenchus penetrans*), on l'utilise de plus en plus au Canada en remplacement de la fumigation du sol dans la culture du tabac et de la pomme de terre.

Production et commerce international Les statistiques de production aggrègent souvent les données sur le mil et toutes les espèces de millets. Compte tenu de la production totale de mil et millets donnée par les statistiques de la FAO et de l'importance relative du mil dans les différents pays, on peut estimer la production annuelle de mil en grain à environ 18 millions de t sur une superficie cultivée de 26,5 millions d'ha, essentiellement dans les régions sèches d'Afrique (60% de la superficie et 58% de la production) et dans le sous-continent indien (38% de la superficie et 41% de la production). Les statistiques de production sur les 10 dernières années font apparaître une augmentation de 20% de la superficie cultivée en Afrique, et un accroissement du rendement de 12%. Cette augmentation de la superficie concerne surtout le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, le Niger et le Nigeria, mais le niveau des rendements s'est accru seulement dans ces deux derniers pays. Au cours de la même période, la superficie cultivée de mil en Inde a baissé de 16%, mais les niveaux de rendements ont augmenté de 30%. Le commerce international porte sur des quantités négligeables.

Propriétés Le grain entier de mil séché contient, par 100 g de partie comestible : eau 12,0 g, énergie 1428 kJ (341 kcal), protéines 10,4 g, lipides 4,0 g, glucides 71,6 g, fibres 1,9 g, Ca 22 mg, P 286 mg, Fe 20,7 mg, traces de β-carotène, thiamine 0,30 mg, riboflavine 0,22 mg, niacine 1,7 mg et acide ascorbique 3 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels, par 100 g d'aliment, est : tryptophane 189 mg, lysine 332 mg, méthionine 239 mg, phénylalanine 467 mg, thréonine 374 mg, valine 535 mg, leucine 927 mg et isoleucine 397 mg (FAO, 1970). Sur le plan nutritionnel, le mil est meilleur que le maïs et le sorgho. Comparées à celles des millets, les protéines du mil sont riches en tryptophane.

Description Vigoureuse graminée annuelle atteignant 4 m de haut, formant des talles à la base et aux nœuds ; système racinaire extrêmement abondant, les nœuds situés au niveau du sol produisant parfois des racines aériennes fortes et épaisses ; tige mince, de 1–3 cm de diamètre, solide, souvent densément poilue en dessous de la panicule, nœuds proéminents. Feuilles alternes, simples ; gaine souvent poilue ; ligule courte, membraneuse, pourvue d'une frange de poils ; limbe linéaire à linéaire-lancéolé, atteignant 1,5 m × 8 cm, souvent pubescent, à bords finement dentés, plus ou moins rugueux. Inflorescence : panicule resserrée, cylindrique, raide et compacte rappelant un épi, atteignant 200 cm de long ; rachis cylindrique, portant des grappes denses de 1–5(–9)



Pennisetum glaucum – 1, port de la plante ; 2, partie de l'infrutescence ; 3, paire d'épillets entourée d'un involucre de soies.
Source: PROSEA

épillets, sous-tendues par une touffe (l'involucre) de jusqu'à 90 soies presque aussi longues que les épillets, mais chez certains cultivars, avec quelques soies raides atteignant 2 cm de long. Epillets obovales, de 3–7 mm de long, habituellement à 2 fleurs ; glumes 2, glume inférieure d'environ 1 mm de long, glume supérieure d'environ 2,5 mm ; fleur inférieure mâle ou stérile, fleur supérieure bisexuée ; lemme ovale, pubescente sur les bords ; paléole presque aussi longue que la lemme ; lodicules absentes ; étamines 3, anthères de 2–5 mm de long, terminées de soies en brosse ; ovaire supère, obovoïde, lisse, à 2 stigmates poilus, connés à la base. Fruit : caryopse nu (grain nu) globuleux à cylindrique ou conique, de 2,5–6,5 mm de long, diversement coloré, de blanc, nacré ou jaune à gris-bleu ou brun, parfois violet, avec le hile marqué d'un point noir bien visible à maturité.

Autres données botaniques Le genre *Pennisetum* comprend environ 80 espèces réparties dans toutes les régions tropicales. Le mil n'est pas étroitement apparenté à la plupart des autres espèces de *Pennisetum*, ce qui ne l'empêche pas de produire facilement des hybrides avec l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum* Schumach., tétraploïde à $2n = 28$). *Pennisetum glaucum* appartient à un complexe de 3 taxons qui se croisent librement et sont parfois considérés comme des sous-espèces de *Pennisetum glaucum*. Cependant, aussi longtemps qu'on n'aura pas entièrement tiré au clair la taxinomie compliquée du mil, il est préférable de maintenir une distinction entre ces taxons :

- *Pennisetum glaucum* : types cultivés, à involucres stipités et persistants ; les inflorescences sont nettement denses et non-égrenantes.
- *Pennisetum sieberianum* (Schltdl.) Stapf & C.E.Hubb. (synonymes : *Pennisetum stenostachyum* (A.Braun & Bouché) Stapf & C.E.Hubb., *Pennisetum dalzielii* Stapf & C.E.Hubb., *Pennisetum americanum* (L.) Leeke subsp. *stenostachyum* (A.Braun & Bouché) Brunken) : types adventices, résultant d'introgression entre *Pennisetum violaceum* sauvage et *Pennisetum glaucum* cultivé, et dont la morphologie varie entre les types sauvages et cultivés ; dans le second cas ils sont désignés sous le nom de "shibras" et ils ressemblent beaucoup aux cultivars de *Pennisetum glaucum*, dont ils se distinguent toutefois par leurs involucres caducs à stipes courts et leurs épillets qui s'égrènent avant la moisson ; soies nombreuses, plus longues que les épillets ; répandu au Sahel et également présent, bien que moins fréquemment, en Afrique orientale et australe.
- *Pennisetum violaceum* (Lam.) Rich. ex Pers. (synonymes : *Pennisetum fallax* (Fig. & De Not.) Stapf & C.E.Hubb., *Pennisetum americanum* (L.) Leeke subsp. *monodii* (Maire) Brunken) : type sauvage et variable, aux involucres caducs et sessiles, qui ne contiennent jamais plus d'un épillet ; soies nombreuses, plus longues que les épillets ; répandu depuis le Sahel d'Afrique occidentale jusqu'en Erytrhée dans les milieux très secs, sans lien avec l'agriculture ; récolté parfois comme céréale sauvage en période de disette.

Bien qu'il existe de nombreux cultivars intermédiaires, 4 groupes de cultivars (décrits au départ comme des races) peuvent être distingués chez le *Pennisetum glaucum* cultivé ; ils reposent essentiellement sur la morphologie du grain et en partie sur leur répartition :

- le Groupe Typhoides ; grain obovoïde, à section circulaire, de 2,5–5,5 mm × 1,5–3 mm × 1–2,5 mm, inflorescence cylindrique ou ellipsoïdale, généralement de moins de 0,5 m de long ; c'est le groupe le plus primitif, le plus

variable et à la répartition la plus vaste ; présent dans toute l'aire du mil en Afrique et en Inde, c'est probablement l'ancêtre des autres groupes.

- Groupe Globosum : grain globuleux, de plus de 2,5 mm de diamètre, inflorescence cylindrique, dépassant souvent 1 m ; très répandu dans le Sahel à l'ouest du Nigeria.
- Groupe Leonis : grain à contour oblancéolé, à section circulaire, de 4–6,5 mm × 2–2,5 mm × 2–2,5 mm, apex aigu, inflorescence cylindrique ; il s'agit du groupe dont l'aire est la plus restreinte, cultivé en Mauritanie, au Sénégal et au Sierra Leone.
- Groupe Nigritarum : grain obovoïde mais à section anguleuse, de 3–5 mm × 1,5–2,5 mm × 1,5–2 mm, inflorescence cylindrique ; très répandu dans les régions semi-arides du Nigeria au Soudan.

Sur le plan agronomique, on reconnaît en Afrique de l'Ouest deux principaux groupes de cultivars, sur la base de leur cycle de croissance : les cultivars du type Gero (ou Souna) à cycle court et les cultivars du type Maiwa (ou Sanio) à cycle long. Les cultivars Gero, moins sensibles à la photopériode, sont plus couramment cultivés et présentent une plus grande diversité génétique que les cultivars Maiwa, chez lesquels la date de floraison dépend fortement de la longueur du jour. Les types Maiwa sont cultivés dans les régions où la saison des pluies est plus longue et où le sorgho est la céréale principale, mais sur des sols plus pauvres et plus sujets à la sécheresse. Certains mils Maiwa, connus sous le nom de mils Dauro, sont semés en pépinière et repiqués au champ.
Les cultivars améliorés et les hybrides F_1 nains cultivés en Inde produisent des talles plus nombreuses que les cultivars africains, ils sont plus précoces (80 jours) voire beaucoup plus précoces (65 jours) et moins sensibles à la photopériode.

Croissance et développement La durée entre la germination et la maturité varie suivant les cultivars de mil dans une fourchette de 55–280 jours, mais la plupart se situent entre 75–180 jours. La durée jusqu'à l'induction florale est le facteur principal dans la détermination du cycle de vie d'un cultivar. Cette induction est plus ou moins influencée par la photopériode, les jours courts l'accélérant. La réponse de la plante à la photopériode permet de régler la longueur de son cycle en jouant sur les dates de semis ; c'est nécessaire lorsque les pluies commencent tard, pour garantir que la floraison et la production de grain aient lieu chaque année au moment le plus favorable en fonction de la latitude. Chez les cultivars à cycle court et insensibles à la photopériode, les stades de développement (depuis la germination jusqu'à l'induction florale, la floraison et la maturité) ont une durée à peu près égale.
L'établissement du mil au champ est affecté par la taille relativement petite des graines, en particulier sur les sols encroûtés. Parmi les autres facteurs qui influencent l'établissement, il y a la température élevée à la surface du sol lors de la levée (qui peut atteindre 50–55°C), les tempêtes de sable et le stress hydrique de début de saison. Au début du développement, les racines croissent davantage que les parties aériennes. Le mil produit un système racinaire dense et étendu, qui peut atteindre une profondeur de 1,2–1,6 m, exceptionnellement de 3,5 m. Les talles basales se forment 2–6 semaines après le semis, et lorsqu'il est semé en poquets largement espacés, jusqu'à 40 talles peuvent être produites, en particulier chez les cultivars à cycle long. Les talles secondaires issues des nœuds supérieurs des tiges sont une réponse courante à la sécheresse ou à des dégâts subis par la tige ou l'inflorescence. Ces talles aériennes produisent 2–3 feuilles et une petite inflorescence dans les 10–20 jours ; elles peuvent contribuer pour 15%, parfois jusqu'à 50%, au rendement en grain. Il faut 15–20 jours entre la différenciation de l'inflorescence et la floraison. Le mil possède un système de reproduction protogyne, qui favorise l'allogamie sans l'imposer ; il arrive qu'il y ait au moins 10% d'autofécondation, en fonction du chevauchement de la floraison parmi les fleurs de la même inflorescence et parmi les talles. Les cultivars de mil sont par conséquent des populations panmictiques hétérogènes et hétérozygotes, et qui présentent une nette dépression de consanguinité. De fortes précipitations, des températures basses et le stress hydrique diminuent la formation de graines. Le remplissage du grain met généralement 22–25 jours. Faible pour les variétés locales (0,15–0,20), l'indice de récolte atteint 0,35 chez les cultivars améliorés, et jusqu'à 0,45 chez les hybrides nains.
Le mil se caractérise par une photosynthèse en C_4. Il est courant de voir des mycorhizes vésiculaires-arbusculaires (par ex. *Gigaspora* et *Glomus* spp.) et des bactéries fixatrices d'azote (par ex. *Azospirillium* spp.) s'associer aux racines du mil et l'aider éventuellement à absorber l'eau, ainsi que N et P.

Ecologie En Afrique de l'Ouest, depuis les

oasis du désert du Sahara (sous irrigation) jusqu'au nord du Sahel (qui se caractérise par 250 mm de précipitation annuelle), on trouve des cultivars de mil insensibles à la photopériode et mûrissant en 55–65 jours. Dans la zone où les précipitations sont de 250–400 mm, où des températures très élevées sont courantes, en particulier au moment de la plantation, c'est la céréale dominante. La température optimale pour la germination des graines de mil est de 33–35°C ; aucune germination n'a lieu en dessous de 12°C. Pour la production et le développement des talles, la température optimale est de 21–24°C, et pour l'induction et le développement des épillets elle tourne autour de 25°C. Des températures extrêmement élevées avant l'anthèse diminuent la viabilité du pollen, la taille des panicules et la densité des épillets, ce qui réduit les rendements. Le mil supporte toutes sortes de types de sols, en particulier les sols légers et acides. Son système racinaire dense et étendu lui permet de pousser sur des sols pauvres en nutriments. Le mil ne tolère pas l'asphyxie racinaire. Une fois établie, la culture est relativement tolérante à la salinité.

Multiplication et plantation La multiplication du mil se fait par graines, généralement semées directement au champ. Le repiquage se pratique à toute petite échelle, en Inde et en Afrique de l'Ouest (pour le mil Dauro). Le poids de 1000 graines est de 2,5–16 g. En Afrique, les cultivars à cycle court sont semés tôt, après les premiers 20 mm de pluie de la saison, et la préparation du sol se limite à un léger binage. Pour les cultivars à cycle long, qui sont semés plus tard, cette préparation est effectuée plus à fond. En général le mil se sème directement dans des poquets en lignes à des distances de 45 cm × 45 cm à 200 cm × 200 cm en fonction du système de culture (culture associée ou culture pure). L'ouverture des poquets se pratique à la houe ou au bâton, on y jette une pincée de graines et on recouvre le trou de terre à l'aide du pied. Au premier désherbage, on éclaircit pour ne laisser que 2 ou 3 plantes par poquet. Les paysans ont tendance à adapter la densité des plantes à la moyenne des précipitations et à la fertilité du sol ; la densité se situe généralement dans une fourchette de 20 000–50 000 plantes par ha en culture pure. Les quantités de semences s'échelonnent de la même façon, de 2–5 kg par ha. Le mil est souvent cultivé en association avec une, voire plusieurs cultures, dont le niébé, le sorgho et l'arachide.

Gestion Le mil a souvent besoin de 2–3 désherbages, qui s'effectuent surtout à la main. Chez les cultivars à cycle court en Afrique, le désherbage coïncide avec la préparation du sol et la plantation de cultures plus tardives. Ce désherbage manuel grève la main-d'œuvre disponible et limite les superficies qu'il est possible de gérer convenablement. Dans certaines régions, on a recours a des outils tirés par des animaux domestiques pour désherber. Le mil se montre très réactif à un accroissement de la fertilité du sol, mais dans le cadre d'une agriculture traditionnelle pluviale, l'épandage de fumier ou d'engrais chimiques est limité. En raison de l'état d'épuisement de la fertilité de la plupart des terres à mil, il faut du phosphore et du potassium pour que la réponse aux engrais azotés soit optimale. Etant donné que les engrais accroissent les besoins en eau de la culture, il faut également prendre en compte les peuplements de plantes et l'eau disponible en moyenne en fonction de la saison lorsqu'on donne des conseils de fertilisation. Il a été observé qu'une culture de mil produisant environ 3,1 t de grain par ha dans la savane d'Afrique occidentale absorbait du sol 132 kg de N, 28 kg de P, 65 kg de K et 31 kg de Ca.

Maladies et ravageurs L'épi vert, causé par le mildiou (*Sclerospora graminicola*), le charbon (*Tolyposporium penicillariae*), la rouille (*Puccinia substriata* var. *penicillariae*) et l'ergot (*Claviceps fusiformis*) sont d'importantes maladies du mil, aussi bien en Afrique qu'en Asie. Des sources de résistance à ces quatre maladies ont été identifiées et on les incorpore actuellement chez les nouveaux cultivars, à l'exception de la résistance à l'ergot, laquelle est polygénique et héritée de manière récessive. Les oiseaux sont les principaux ravageurs du mil, en particulier *Quelea* spp. Il est essentiel de mettre en place des épouvantails pendant plusieurs semaines avant la moisson. Les paysans d'Afrique de l'Ouest ne récoltent que la superficie qu'ils peuvent protéger des oiseaux. Les cultivars à longues soies dures sont moins vulnérables que ceux qui en sont dépourvus. La foreuse des tiges (*Coniesta ignefusalis*), la mineuse des chandelles (*Heliocheilus albipunctella*) et la cécidomyie (*Geromyia penniseti*) sont importantes par endroits. Les autres ravageurs sont des vers blancs, des sauterelles, des criquets, et différents lépidoptères. En Afrique de l'Ouest, le mil est parfois gravement attaqué par des souches adaptées du parasite des racines *Striga hermonthica* (Delile) Benth.

Récolte Le mil se récolte manuellement, en cueillant les chandelles ou en récoltant les plantes entières. Chez les cultivars dont les talles mûrissent de façon inégale, plusieurs cueillettes sont nécessaires. Les cultivars à chandelles longues sont préférés pour le confort qu'ils offrent lors de la récolte, de la mise en bottes et du transport.

Rendements Les rendements en grains vont de 250 kg/ha dans les régions les plus sèches à 500–1500 kg/ha dans les principales régions de production. Les moyennes de rendements en Afrique et en Inde sont d'environ 670 et 790 kg/ha respectivement. Dans des conditions optimales, les hybrides peuvent atteindre des rendements en grains de 5 t par ha en 85 jours ; des rendements de 8 t par ha ont même été obtenus. Chez les variétés locales, le rendement en matières sèches provenant des parties aériennes peut s'élever à 3–10 t/ha. Chez les hybrides sélectionnés spécialement pour le fourrage, ce chiffre s'élève à 10–20 t/ha, au cours d'une même saison.

Traitement après récolte La récolte de mil est mise à sécher au soleil pendant quelques jours. En Afrique, il est courant de conserver les chandelles entières dans des greniers surélevés, construits de torchis ou de matériaux végétaux et couverts de chaume. Il arrive qu'elles soient entreposées dans des trous. Des cendres ou des feuilles de nim (*Azadirachta indica* A.Juss.) peuvent être disposées en couches pour réduire les attaques des insectes. Le battage s'effectue d'habitude manuellement lorsqu'on a besoin de grain. S'il est sec et bien protégé contre les insectes, le grain peut se conserver convenablement à température ambiante pendant plusieurs années. La farine de mil, à moins d'être moulue à sec et bien emballée, est de médiocre qualité du point de vue de sa conservation, car elle rancit du fait de sa forte teneur en huile.

Ressources génétiques Les variétés locales de mil ont évolué au fil des millénaires grâce à la sélection naturelle et humaine. Une sélection à différentes latitudes et en différentes zones agroclimatiques sur des critères de durée de la culture, de rendement, d'adaptabilité à des sols pauvres en nutriments, de résistance à la sécheresse et aux maladies et de type de grain a donné lieu à des cultivars locaux d'une grande diversité morphologique et de sensibilité à la photopériode. Une introgression constante avec des types apparentés sauvages et adventices en Afrique de l'Ouest a de plus contribué à la diversité génétique de l'espèce. Cette variabilité génétique est conservée et évaluée au Coastal Plains Experiment Station de Tifton (Géorgie, Etats-Unis) et à l'Institut international de recherche sur les plantes cultivées des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) d'Hyderabad (Inde), où est hébergée la collection mondiale qui regroupe plus de 24 000 entrées. L'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI) finance un programme démarré au Burkina Faso et destiné à améliorer la description et l'évaluation du matériel aux lieux et dates où il a été collecté. Une source particulière de matériel génétique, le cultivar 'Iniadi' du nord du Togo et du Ghana, a eu un profond impact sur l'amélioration génétique du mil. Les sélections qui en ont été faites ont réussi comme cultivars au nord de l'Inde, en Namibie et au Botswana, et le cultivar 'Iniadi' a été largement utilisé dans tous les programmes d'amélioration génétique.

Sélection La sélection du mil a produit aussi bien des variétés-populations améliorées que des hybrides ; une stérilité mâle cytoplasmique est disponible pour la production commerciale de graines hybrides. La sélection du mil a démarré en Afrique dans les années 1950 et ce sont des cultivars traditionnels qui y sont encore utilisés partout. Le travail de sélection mené par l'Indian Council of Agricultural Research et l'ICRISAT a brillamment réussi à mettre au point des cultivars qui ont rapidement été adoptés par les paysans. La découverte en 1958 d'une stérilité mâle cytoplasmique lors d'un programme d'amélioration de mil fourrager à Tifton (Géorgie, Etats-Unis) a débouché en Inde sur la production d'hybrides à grains, semi-nains et précoces, qui couvraient 3 millions d'ha en 1970. Malgré l'impact de maladies épidémiques, près de 50% des cultures indiennes de mil en exploitations familiales sont constituées d'hybrides et de cultivars améliorés, et les rendements ont augmenté de 40% depuis 1965. Les premiers travaux de sélection menés en Afrique de l'Ouest par l'Institut de recherches agronomiques tropicales et de cultures vivrières (IRAT) et la East African Agriculture and Forestry Research Organization (EAAFRO) ont produit des cultivars locaux améliorés, mais leur adoption a été négligeable. Depuis le début des années 1980, l'ICRISAT, en travaillant à partir d'une base de ressources génétiques plus vaste et en conjonction avec des programmes nationaux de recherche agricole d'Afrique occidentale, orientale et australe, a produit de meilleurs cultivars. Dans 8 pays d'Afrique de l'Ouest, 24 cultivars (11 pour la zone sahé-

lienne et 13 pour la zone soudanaise) ont été mis sur le marché ; en Afrique orientale et australe, 19 nouveaux cultivars sont disponibles pour 8 pays, avec des taux d'adoption qui atteignent 50% (en Namibie, au Zimbabwe). Les travaux de l'ICRISAT portent surtout sur l'identification d'une tolérance stable au stress, d'une vaste adaptabilité et d'un potentiel de rendement élevé. Des sources de tolérance aux principales maladies ont été identifiées et sont en train d'être incorporées aux nouveaux cultivars. On a découvert deux systèmes supplémentaires de stérilité mâle cytoplasmique (A4 et A5), dotés d'attributs supérieurs tant pour la sélection d'hybrides que pour la production de semences. Ils permettent d'accéder à différents processus hétérotiques et de créer plus rapidement des hybrides, notamment des hybrides top-cross, mieux adaptés à la forte pression des maladies en Afrique. En moyenne, les hybrides simples (mâle-stérile × lignée restauratrice) ont un rendement en grain de 20% supérieur à celui des variétés-populations de précocité similaire. Les hybrides top-cross (mâle-stérile × variété-population) bénéficient de l'adaptabilité et de la résistance durable aux maladies des types à pollinisation libre, et donnent 10–15% de rendement supplémentaire. Le génome du mil a aujourd'hui été bien cartographié, et on se sert de la sélection assistée par marqueurs pour améliorer la résistance au mildiou et à la rouille. Des plantes transgéniques comportant divers gènes marqueurs ont été obtenues par bombardement de particules.

Des travaux de sélection pour le fourrage, principalement aux Etats-Unis, en Australie, au Brésil et en Afrique australe, ont aussi produit des hybrides. Des hybrides interspécifiques entre le mil et l'herbe à éléphant (*Pennisetum purpureum*) sont disponibles ; ils sont vigoureux, variables, triploïdes et stériles, mais la multiplication végétative de ces sélections est facile à obtenir et les petits paysans s'en servent comme fourrage pérenne persistant en Asie du Sud-Est, en Afrique orientale et australe et en Amérique du Sud. Aux Etats-Unis, on a réussi à incorporer au mil le port nain et la maturité synchrone des talles, ainsi que la précocité et la tolérance aux maladies, pour en faire une nouvelle céréale destinée à l'alimentation animale et adaptée à la culture mécanisée. Une production commerciale de mil-grain destinée à l'alimentation des volailles a démarré en Géorgie (Etats-Unis).

Perspectives Le mil offre un fort potentiel parce qu'il possède l'un des plus forts taux de gain en matière sèche parmi les céréales à cycle en C_4, un système de reproduction très souple et une grande variabilité génétique dans le pool génétique primaire qui reste à utiliser. Les résultats des travaux de sélection en Inde, où les gains provenant de l'amélioration génétique ont été de 1–2% par an sur les 35 dernières années, montrent à quoi on pourrait parvenir en Afrique. La moitié de la superficie consacrée au mil en Inde est aujourd'hui cultivée avec des cultivars améliorés, y compris des hybrides. Des techniques de sélection éprouvées et un plus grand recours aux ressources génétiques va continuer à produire de meilleurs cultivars.

En Afrique, la petite taille des marchés de céréales, leur caractère saisonnier, le manque de crédits et de capacité de stockage en vrac du grain ont empêché les paysans de faire les investissements financiers qui augmenteraient la production. Cependant, l'accroissement de la demande des citadins en farine de mil, ainsi que de produits alimentaires comme le couscous, permettent à des coopératives agricoles au Niger, au Mali et au Sénégal de passer des contrats avant le semis directement avec des transformateurs urbains de grains, de façon à assurer la fourniture d'un grain qui réponde à des normes précises telles que type et couleur du grain, qualité meunière, saveur et absence d'impuretés. Au Sénégal, on spécifie aussi le cultivar. Cela donne aux paysans qui étaient en agriculture de subsistance la possibilité de tirer parti des semences de cultivars améliorés, ainsi que d'intrants achetés tels que les engrais. De meilleurs cultivars, produits par des paysans multiplicateurs certifiés, sont actuellement commercialisés en Namibie, au Nigeria et au Sénégal. Des recherches et des essais ont été menés sur de nombreuses techniques de production, aussi bien pour les exploitations familiales que pour les cultures de mil à grande échelle ; elles portent entre autres sur les cultivars améliorés, une meilleur conduite de la culture, l'amélioration du sol et les techniques de conservation de l'humidité dans les principales régions de production en Afrique. Si des marchés fiables de céréales sont mis en place, la production de mil en Afrique pourra suivre l'exemple de l'Inde et s'accroître de manière substantielle sur les superficies existantes.

Références principales Anand Kumar & Andrews, 1993; Andrews & Bramel-Cox, 1993; Andrews & Kumar, 1992; Bidinger & Hash, 2004; Brunken, de Wet & Harlan, 1977; Dendy (Editor), 1995; Khairwal et al., 1999; Oyen & Andrews, 1996; Pearson (Editor), 1985; Renard

& Anand Kumar, 2001.

Autres références Andrews & Anand Kumar, 1996; Bationo et al., 1992; Bezançon, Renno & Anand Kumar, 1997; Bonamigo, 1999; Burkill, 1994; Clayton, 1989; Clayton & Renvoize, 1982; de Wet, 1995d; FAO, 1970; 2001; Hash, Schaffert & Peacock, 2002; Jagdale et al., 2000; Leung, Busson & Jardin, 1968; McDonough, Rooney & Serna-Saldivar, 2000; Monyo, 2002; National Research Council, 1996; O'Kennedy, Burger & Botha, 2004; Rachie & Majmudar, 1980; Rai et al., 2001; Stoop, 1986; Wilson, 2000.

Sources de l'illustration Oyen & Andrews, 1996.

Auteurs D.J. Andrews & K.A. Kumar
Basé sur PROSEA 10: Cereals.

PHASEOLUS ACUTIFOLIUS A.Gray

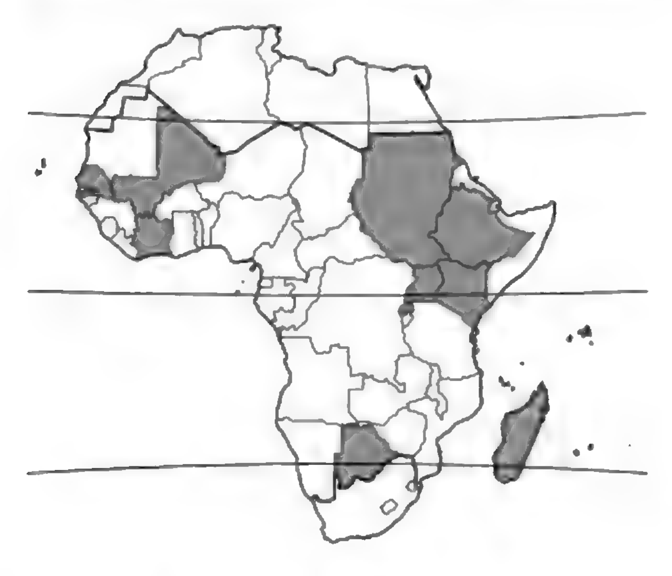
Protologue Pl. wright. 1: 43 (1852).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionaceae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Noms vernaculaires Haricot tépari, tépari (Fr). Tepary bean, Texas bean (En). Feijão tepari (Po).

Origine et répartition géographique Le haricot tépari est une ancienne plante cultivée du sud-ouest des Etats-Unis et du nord du Mexique. D'après des recherches récentes, les vestiges les plus anciens de haricot tépari domestiqué proviennent de la vallée de Tehuacán au Mexique, et remontent à environ 2300 ans. L'analyse des isozymes suggère que sa domestication a eu lieu dans une seule zone géographique, qui pourrait se situer dans les états de Jalisco ou Sinaloa au Mexique. De nos jours, les formes sauvages sont réparties depuis le sud-ouest des Etats-Unis (Arizona, Nouveau-Mexique, Texas) jusqu'au Guatemala, avec un noyau central au nord-ouest du Mexique. Le haricot tépari est également cultivé au sud des Etats-Unis et en Amérique centrale. Après la seconde guerre mondiale, la culture du haricot tépari a fortement diminué, mais de nos jours elle recommence à susciter l'intérêt. Le haricot tépari a été introduit en Afrique, en Asie et en Australie, où il est cultivé. Introduit dans l'Afrique de l'Ouest francophone, en Afrique centrale, en Afrique de l'Est et à Madagascar entre les première et seconde guerres mondiales, il y est maintenant cultivé, et sa culture s'étend au sud jusqu'au Botswana. Il a aussi été signalé au Maroc, en Algérie, en Afrique du Sud, au Swaziland et au Lesotho.



Phaseolus acutifolius – planté

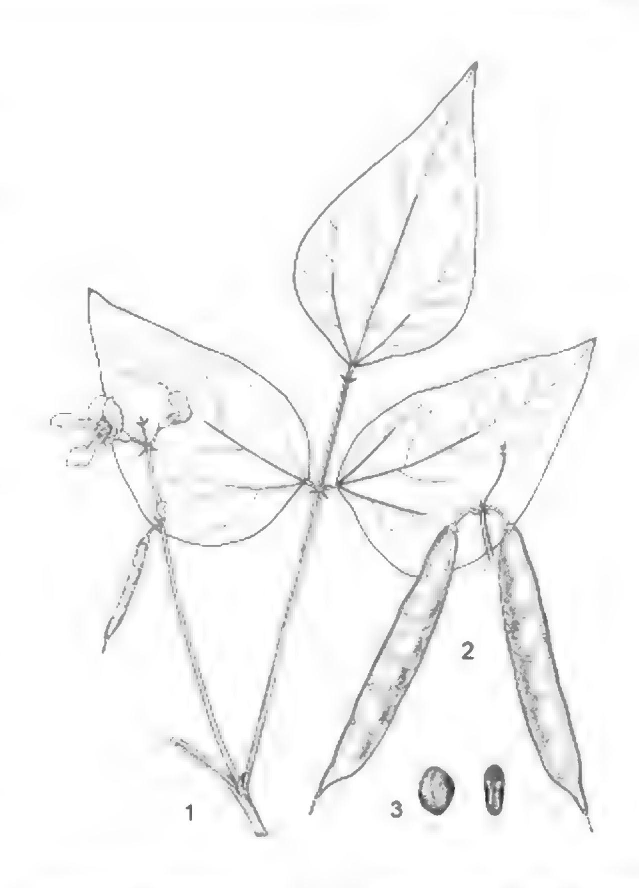
Usages Le haricot tépari est principalement cultivé pour ses graines mûres sèches, qui se consomment cuites à l'eau, à la vapeur, à l'huile ou au four. On les emploie en ragoûts et en soupes et on les mélange à des grains de maïs entiers. En Ouganda, les graines sèches se cuisent généralement à l'eau avant d'être grossièrement broyées pour être ajoutées aux soupes. Il arrive que l'on consomme le tépari comme haricot vert ou pour ses germes. Au Malawi, les feuilles sont réputées comestibles, mais elles sont plus dures que celles du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.) et elles sont plus longues à cuire. Les gousses et les tiges qui subsistent après l'écossage peuvent servir à l'alimentation du bétail. Au Botswana, les graines servent couramment à améliorer l'alimentation des volailles. Le tépari a été parfois cultivé comme fourrage ou comme engrais vert, aux Etats-Unis par exemple. On peut s'en servir comme culture de couverture et comme culture associée dans un système agroforestier.

Production et commerce international Le haricot tépari est cultivé principalement au Mexique et en Arizona (Etats-Unis). Une production commerciale à grande échelle a été tentée au début du XX[e] siècle, mais l'entreprise a été abandonnée en raison des caractéristiques morphologiques défavorables de la plante comparée au haricot commun, d'une modification des habitudes alimentaires et d'un manque d'information sur ses performances. Le tépari a récemment pris de l'importance dans les régions semi-arides d'Afrique tropicale, par ex. au Soudan, au nord-est du Kenya, en Ouganda et au Botswana, où la plupart des autres légumineuses à graines échouent en raison de

la sécheresse et où l'on a besoin de cultures à cycle court. La production étant destinée surtout à la consommation intérieure, on ne dispose pas de statistiques de production et de commercialisation.

Propriétés La composition de la graine sèche de haricot tépari par 100 g de partie comestible est de : eau 8,6 g, énergie 1478 kJ (353 kcal), protéines 19,3 g, lipides 1,2 g, glucides 67,8 g, fibres 4,8 g, Ca 112 mg, P 310 mg, thiamine 0,33 mg, riboflavine 0,12 mg, niacine 2,8 mg et acide ascorbique 0 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). Comme c'est le cas pour les autres légumes secs, les graines ont une faible teneur en acides aminés sulfurés, à savoir la méthionine et la cystine (0,9–1,3% et 0,8–1,3% des acides aminés totaux, respectivement). En ce qui concerne les facteurs antinutritionnels, tels que les inhibiteurs de trypsine, les oligosaccharides flatulents et l'acide phytique, le tépari est comparable au niébé et au pois chiche ; l'activité des lectines est exceptionnellement élevée, mais diminue facilement à la cuisson ; par contre, on n'a pas détecté de glucosides cyanogènes. On a observé que la consommation de farine crue de haricot tépari entraînait la mort des souris et des rats en 3–4 jours ; toutefois, un trempage et une cuisson en éliminent totalement la toxicité. De saveur et d'odeur prononcées, le haricot tépari est moins appétissant que le haricot commun. Après stockage, les graines sèches durcissent beaucoup et sont très longues à cuire. Les cultivars à graines blanches ont un tégument plus perméable que ceux à graines noires, ce qui diminue leur temps de cuisson.
Le foin de haricot tépari contient 6,6% d'eau, 9,9% de protéines, 1,9% de lipides, 43,1% d'extrait non azoté, 29,3% de fibres et 9,2% de cendres. Les gousses et les tiges contiennent 8% d'eau, 4,1% de protéines, 0,5% de lipides, 43,6% d'extrait non azoté, 37,0% de fibres et 6,8% de cendres.

Description Plante herbacée annuelle, grimpante, rampante ou plus ou moins érigée et buissonnante, à tiges atteignant 4 m de long ; racines fibreuses. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules lancéolées, de 2–3 mm de long, apprimées à la tige ; pétiole de 2–10 cm de long ; stipelles linéaires, atteignant 2 mm de long ; folioles ovales à ovales-lancéolées, de 4–8 cm × 2–5 cm, aiguës, habituellement pubescentes en dessous. Inflorescence : grappe axillaire, à 2–5 fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 3–7 mm de long ; calice campanulé, de 3–4 mm de long, les 2 lobes supérieurs réunis en un seul, les 3 inférieurs triangulaires ; corolle blanche, rose ou lilas pâle, étendard semi-réfléchi, large, émarginé, atteignant 1 cm de long, ailes atteignant 1,5 cm de long, carène étroite, spiralée ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, d'environ 0,5 cm de long, densément pubescent, style pourvu d'une spirale terminale épaissie, garni d'un collet de poils sous le stigmate. Fruit : gousse comprimée, droite ou légèrement courbe, de 5–9 cm × 0,5–1 cm, à bourrelets sur les bords, à bec court mais distinct, poilue à l'état jeune, contenant habituellement 2–9 graines. Graines globuleuses à oblongues, de 4–7(–10) mm × 2–5(–7,5) mm, blanches, jaunes, brunes, violacées, noires ou diversement marbrées, ternes. Plantule à germination épigée ; première paire de feuilles simple.



Phaseolus acutifolius – 1, rameau en fleurs avec jeune fruit ; 2, fruits ; 3, graines.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Phaseolus* comprend environ 50 espèces, dont la plupart se trouvent dans les Amériques. Trois variétés de *Phaseolus acutifolius* ont été distinguées sur la base de la morphologie des folioles et des graines. Var. *acutifolius* et var. *tenuifolius* A.Gray comprennent des formes sauvages issues du sud-ouest des Etats-Unis et du nord-ouest du Mexique ; var. *latifolius*

G.F.Freeman comprend des formes aussi bien sauvages que cultivées. Les analyses d'isozymes et d'AFPL ne permettent pas de différencier clairement var. *acutifolius* et var. *tenuifolius*.

Croissance et développement Les graines du haricot tépari absorbent facilement l'eau ; dans un sol humide, le tégument se ride en 5 minutes, et dans l'eau en 3 minutes, ce qui entraîne une germination très rapide. La levée est plus rapide pour les types à graines blanches que pour ceux à graines noires. Les graines des types domestiqués n'ont pas de dormance, ce qui présente un inconvénient dans les régions humides, où les graines tombées risquent de germer rapidement. Le taux de germination augmente lorsque la température monte de 10°C à 35°C. La floraison se produit en 27–40 jours. Les fleurs s'autofécondent avant l'anthèse. Dans les régions tropicales, il existe des types à cycle court capables de mûrir en 2 mois, mais la plupart ont une période de croissance de 70–90 jours. Dans les régions moins chaudes, comme la côte algérienne, la période de croissance est en moyenne de 120 jours. La plupart des types domestiqués de haricot tépari s'égrènent moins facilement que les types sauvages.

Chez le haricot tépari, la nodulation et la fixation d'azote ne sont efficaces qu'avec des isolats de *Bradyrhizobium*. Les hybrides de haricot tépari et de haricot commun (ce dernier formant des nodules avec *Bradyrhizobium* mais ne fixant l'azote atmosphérique que lorsque les nodules sont produits avec *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*) peuvent se répartir en 2 groupes : un groupe ne fixant l'azote qu'avec *Bradyrhizobium*, et l'autre uniquement avec *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*.

Ecologie Le haricot tépari est particulièrement indiqué dans les régions arides, car il supporte la sécheresse, la chaleur et une atmosphère sèche. Les facteurs qui contribuent à cette tolérance à la sécheresse chez le tépari sont la sensibilité de ses stomates, qui se ferment alors que les potentiels en eau sont encore relativement élevés, et un système racinaire profond et étendu. Le tépari se trouve dans des régions dont la température annuelle moyenne est de 17–26°C ; la température nocturne minimale ne doit pas tomber sous la barre de 8°C. Il est capable de pousser dans les zones où la pluviométrie annuelle est de 500–1700 mm, mais lorsque celle-ci dépasse les 1000 mm, la croissance végétative est généralement excessive, au détriment du rendement en graines. Après la floraison, il ne faut que peu de pluie ou pas du tout. Si presque partout en Afrique on cultive le haricot tépari comme culture de saison courte, dans les régions humides il est cultivé toute l'année. Au Mexique et en Arizona, il se cultive généralement à des altitudes moyennes. Certains types de tépari ont besoin de jours courts pour fleurir, mais les autres semblent insensibles à la photopériode.

Les sols légers et bien drainés ont la faveur du tépari ; on peut obtenir des rendements moyens sur des sols sablonneux et pauvres à pH de 5–7. Par contre il ne supporte pas l'asphyxie racinaire et les argiles lourdes ne lui conviennent pas. Il tolère moyennement bien les terres salines et alcalines. Il se peut que sa tolérance au sel ne soit pas physiologique mais provienne de son aptitude à se soustraire à la salinité grâce à un système racinaire plus profond que celui du haricot commun, par exemple.

Multiplication et plantation Le haricot tépari se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 100–220 g chez les génotypes cultivés et de 15–50 g chez les génotypes sauvages. Les graines se sèment à la volée à raison de 28–34 kg/ha, ou en lignes espacées de 60–90 cm, en ménageant 10–45 cm entre plantes sur la ligne. La profondeur de semis est de 2,5–10 cm. Le tépari se sème parfois sur buttes, à raison de 2–4 graines par butte. Au Kenya, il se sème à raison de 15–20 kg/ha, avec des espacements de 60 cm × 30 cm. Dans le cas d'une culture pour le foin, les besoins en semences sont de l'ordre de 70 kg/ha.

Le haricot tépari se cultive en culture pure ou en association avec des céréales (sorgho, mil, maïs), des légumes (*Allium*, *Brassica*, *Capsicum*, *Cucurbita* spp.), ou d'autres légumes secs. Aux Etats-Unis et au Mexique, le haricot tépari est parfois semé en mélange non trié avec le haricot commun, ce qui donne des rendements plus stables que ceux du haricot commun seul et des rendements potentiels plus élevés que ceux du tépari seul.

Gestion Pour le haricot tépari, le désherbage est essentiel, surtout au début de sa croissance. Mais cultivé comme plante de "fin de saison", il n'a pas besoin d'être beaucoup désherbé. On sait peu de choses sur ses besoins en nutriments, et sa réponse aux engrais azotés et potassiques n'est pas régulière. On peut irriguer, mais cela est peu pratiqué. En culture associée, ce sont les pratiques culturales de la culture principale qui s'appliquent au haricot tépari. Au Sénégal et au Mali, le tépari se cultive comme légume dans les jardins familiaux.

Maladies et ravageurs D'ordinaire, le haricot tépari n'est pas touché par les maladies dans les régions semi-arides, sauf pendant les périodes de forte humidité. Au sein de l'espèce, il existe des niveaux de résistance variables contre la graisse bactérienne (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*), la rouille du haricot (*Uromyces appendiculatus*), la pourriture due à *Fusarium* sp., l'oïdium (*Erysiphe polygoni*), l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), les taches anguleuses des feuilles (*Phaeoisariopsis griseola*) et la pourriture charbonneuse (*Macrophomina phaseolina*). Le tépari est sensible à la pourriture blanche (*Sclerotinia sclerotiorum*), et on le considère également sensible à la graisse à halo (*Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*) ; il est en outre cité comme hôte de la pourriture du collet (*Sclerotium rolfsii*) et de la pourriture due à *Pythium aphanidermatum*. Extrêmement sensible au virus de la mosaïque commune du haricot (BCMV), le tépari a également fait preuve de sensibilité au virus de la mosaïque de la luzerne (AMV), au virus de la mosaïque jaune du haricot (BYMV), au virus de la frisolée de la betterave (BCTV), au virus de la marbrure de la gousse du haricot (BPMV) et au virus de la mosaïque dorée du haricot (BGMV).
Des cicadelles (*Empoasca kraemeri*) et des foreurs de gousses (*Epinotia opposita*) ont été observés lors d'essais de stress hydrique. De nombreuses lignées ont fait preuve de résistance contre les cicadelles, mais le mécanisme est celui d'une non préférence plus que d'une antibiose. Il s'avère que la coccinelle mexicaine du haricot (*Epilachna varivestis*) et la cicadelle de la pomme de terre (*Empoasca fabae*) provoquent des dégâts sur le haricot tépari. On a observé une certaine résistance au puceron noir du haricot (*Aphis fabae*) ainsi qu'à la petite pyrale du maïs (*Elasmopalpus lignosellus*). La dureté de son tégument rend la graine résistante aux ravageurs des greniers, comme les bruches (*Callosobruchus* et *Acanthoscelides* spp.). En Ouganda, cependant, on a noté la présence du charançon du riz (*Sitophilus oryzae*) dans des stocks de graines.

Récolte D'ordinaire, les gousses situées sur la même plante de tépari ne mûrissent pas toutes en même temps et comme elles s'égrènent si on les laisse sécher au champ, elles sont généralement récoltées à la main dès qu'elles commencent à changer de couleur, en général 2,5–3 mois après la plantation. Ce sont parfois les plantes entières que l'on arrache à la main. On fait normalement sécher les gousses quelques jours avant de procéder au battage. En Afrique, il est d'usage de taper sur les gousses ou les plantes sèches avec des bâtons pour effectuer le battage du tépari.

Rendements En Ouganda, les rendements moyens de haricot tépari sont de 450–670 kg de graines sèches par ha. En culture sèche aux Etats-Unis, les rendements sont de 500–800 kg/ha, et sous irrigation de 900–1700 kg/ha. Lorsqu'il s'agit d'une culture fourragère, on peut obtenir 5500–11 000 kg/ha de foin (en matière sèche).

Traitement après récolte Contrairement à la plupart des autres légumes secs, les graines de tépari se conservent bien et n'ont pratiquement besoin d'aucune mesure de protection contre les ravageurs des greniers.

Ressources génétiques La base génétique du haricot tépari cultivé est plus étroite que celle du haricot commun et du haricot de Lima (*Phaseolus lunatus* L.), et la plus grande diversité génétique en vue de son amélioration réside dans les formes sauvages. Il est recommandé de collecter les ressources génétiques provenant de l'aire d'origine du tépari. Le pool génique du tépari sauvage a diminué suite à la destruction et à la dégradation des milieux ; le tépari domestiqué quant à lui a souffert d'érosion génétique en raison de la diminution de sa superficie cultivée. L'échange d'information génétique entre le haricot commun et le haricot tépari est possible, mais seulement pour des caractères simples n'impliquant que peu de gènes. Bien que le haricot commun et le haricot tépari possèdent le même nombre de chromosomes et des caryotypes similaires, leurs génomes mitochondriaux, leur adaptation agro-écologique et leurs caractéristiques morphologiques sont distincts, preuve qu'il s'agit d'espèces bien différenciées.
La plus grande collection de ressources génétiques de tépari (environ 350 entrées) est détenue au CIAT (Centre international d'agriculture tropicale) à Cali (Colombie). Une autre collection importante se trouve à l'USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station, Washington (Etats-Unis) (211 entrées). Des collections plus petites sont détenues en Australie (Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre, Biloela ; 70 entrées), en Belgique (Jardin botanique national de Belgique, Meise ; 59 entrées), au Mexique (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Col. San Rafael ; 40 entrées) et au Guatemala (Centro Universitario de Sur Occidente (CUNSUROC),

Universidad de San Carlos, Mazatenango ; 31 entrées). En Afrique, 29 entrées sont détenues à l'ISRA (Institut sénégalais de recherches agricoles) à Dakar (Sénégal) et 10 entrées à l'ILRI (Institut international de recherche sur le bétail), à Addis Abéba (Ethiopie). La plupart des collections comprennent aussi bien des formes sauvages que cultivées.

Sélection Le haricot tépari est généralement résistant aux maladies et aux ravageurs, tolérant à la sécheresse, la chaleur et la salinité et il possède un cycle de culture court. Les perspectives de sélection sont favorables, car il existe au sein de l'espèce suffisamment de variation dans la résistance aux facteurs de stress biotiques et abiotiques. A l'exception de quelques populations issues de sélection massale, aucun cultivar amélioré de haricot tépari n'a été mis à la disposition des producteurs. Les caractères favorables du tépari ont surtout servi à améliorer le haricot commun plutôt que le tépari lui-même. Sa résistance à la graisse bactérienne, par exemple, a été transférée au haricot commun par hybridation interspécifique. Lors des essais de croisement de *Phaseolus acutifolius* avec *Phaseolus vulgaris*, la fécondation croisée artificielle ne pose aucun problème ; cependant des barrières post-zygotiques empêchent habituellement la formation d'un embryon normal et en règle générale on n'obtient pas d'hybrides viables. On a habituellement besoin de recourir au sauvetage d'embryons par culture in vitro pour mener l'hybridation à terme. Par croisements de retour répétés avec l'un et l'autre des parents en alternance, les hybrides deviennent fertiles et se croisent avec les deux espèces. Ce sont toutefois les gènes provenant du haricot commun qui tendent à prédominer dans ces hybrides. On a aussi obtenu des graines à partir d'un croisement faisant intervenir une entrée de *Phaseolus acutifolius* (NI 576) sans passer par la culture in vitro. Cette entrée a pu être transformée génétiquement par le biais d'*Agrobacterium*, puis de culture de tissus, ouvrant ainsi la voie à une utilisation de *Phaseolus acutifolius* pour introduire des transgènes dans *Phaseolus vulgaris*, qui est plus important sur le plan économique.

Perspectives Le haricot tépari semble être une culture très indiquée pour les paysans pauvres d'Afrique, étant donné sa germination rapide, son système racinaire profond et son cycle de vie court, qui le rendent bien adapté à une production dans les régions arides ou semi-arides. Parmi les raisons de la réticence à adopter le tépari dans l'alimentation, on trouve la petite taille de la graine, sa tendance à provoquer des flatulences, sa longue durée de cuisson, la pénibilité de sa récolte et une saveur prononcée, voire une odeur désagréable selon certaines personnes. Il n'empêche que dans le nord du Kenya et du Nigeria, les mets traditionnels préparés avec du haricot tépari en remplacement du niébé ont été jugés tout à fait acceptables. Pour promouvoir ce haricot en Afrique, il sera nécessaire de sélectionner des cultivars à haut rendement, d'élaborer des produits alimentaires (suppléments protéiniques) à odeur moins forte, et de mettre en place une infrastructure de commercialisation.

Références principales CIAT, 2003; Dillen et al., 1997; Hornetz, 1993; Jansen, 1989d; Kaplan & Lynch, 1999; Kay, 1979; Miklas et al., 1994; National Academy of Sciences, 1979; Pratt & Nabhan, 1988; Tinsley et al., 1985.

Autres références Aganga et al., 2000; Baudoin & Maquet, 1999; Debouck & Smartt, 1995; Freytag & Debouck, 2002; Garvin & Weeden, 1994; Idouraine, Tinsley & Weber, 1989; Idouraine, Weber & Kohlhepp, 1995; Kaiser, 1981; Leung, Busson & Jardin, 1968; Lin & Markhart III, 1996; Markhart III, 1985; Mogotsi, 1982; Muñoz et al., 2004; Nabhan & Felger, 1978; Purseglove, 1968; Schinkel & Gepts, 1988; Somasegaran, Hoben & Lewinson, 1991; Stanton, 1966; Thorn et al., 1983; White & Montes, 1993.

Sources de l'illustration Jansen, 1989d.

Auteurs K.K. Mogotsi

PHASEOLUS COCCINEUS L.

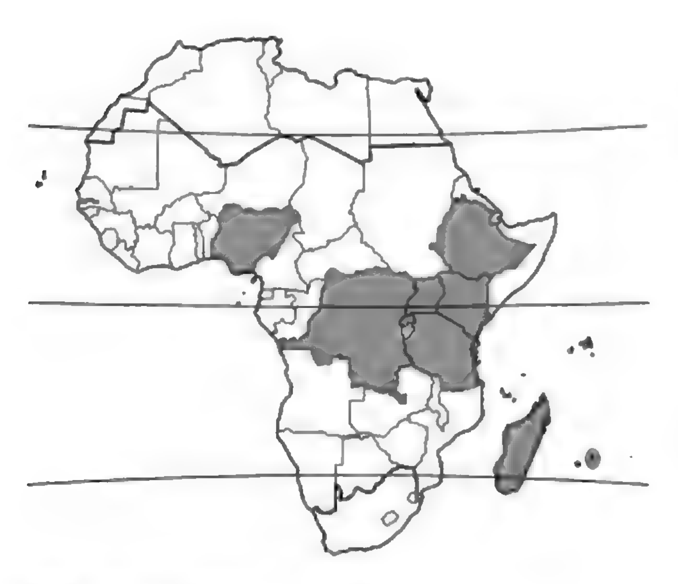
Protologue Sp. pl. 2: 724 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Noms vernaculaires Haricot d'Espagne (Fr). Scarlet runner bean, runner bean, multiflora bean, case knife bean (En). Feijão da Espanha, feijão escarlata, feijão trepador (Po).

Origine et répartition géographique Le haricot d'Espagne est présent à l'état sauvage du Mexique à Panama. Il a probablement été domestiqué au Mexique et les données archéologiques indiquent que l'espèce était déjà domestiquée vers 900 après J.-C. De nos jours le haricot d'Espagne est cultivé dans les pays tempérés et parfois dans les régions de hautes terres d'Amérique centrale et du Sud, d'Afrique (par ex. en Ethiopie, au Kenya, en Ouganda, en



Phaseolus coccineus – planté

Afrique du Sud) et d'Asie. On le cultive probablement à Madagascar et on a signalé sa culture dans la partie est de l'Afrique australe tropicale, mais aucun pays n'est cité en particulier.

Usages En Amérique centrale, on consomme tant les graines immatures que mûres alors qu'ailleurs, ce sont surtout les graines mûres, comme en Ethiopie. On les prépare surtout en les cuisant à l'eau. Dans les régions tempérées, il est très courant de consommer les gousses immatures comme légume, coupées en petits morceaux et cuites. En Amérique centrale, ce sont parfois les jeunes pousses, les feuilles et les inflorescences qu'on mange comme légume (simplement cuites à l'eau ou frites après cuisson à l'eau) ; les racines tubérisées quant à elles se mangent aussi cuites à l'eau ou se mâchent comme une confiserie. Une décoction de racine se prend contre la malaria, ou s'applique sur les yeux gonflés. En Amérique centrale, le haricot d'Espagne est brouté par le bétail et on en fait du foin. On le cultive comme plante ornementale.

Production et commerce international On ne dispose pas de statistiques précises sur la production de haricot d'Espagne. La production est réservée presque exclusivement à un usage local. Il existe une production commerciale de gousses au Royaume-Uni et en Argentine, ainsi que de graines des cultivars à graines blanches en Afrique du Sud. Au Kenya, le haricot d'Espagne est principalement cultivé par les petits exploitants.

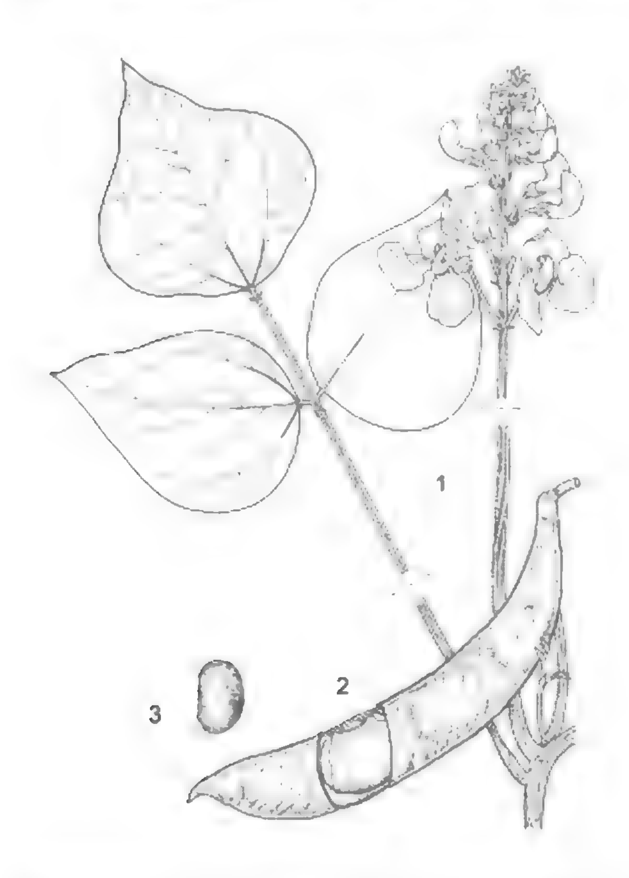
Propriétés La composition de la graine séchée de haricot d'Espagne, par 100 g de partie comestible, est de : eau 12,5 g, énergie 1415 kJ (338 kcal), protéines 20,3 g, lipides 1,8 g, glucides 62,0 g, fibres 4,8 g, Ca 114 mg, P 354 mg, Fe 9,0 mg, thiamine 0,50 mg, riboflavine 0,19 mg, niacine 2,3 mg et acide ascorbique 2 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). Les graines contiennent des facteurs antinutritionnels tels que des inhibiteurs de trypsine, et il faut donc les cuire avant de les consommer pour éliminer ces substances.

Par 100 g de partie comestible, les gousses vertes crues (extrémités et bords parés) contiennent : eau 91,2 g, énergie 93 kJ (22 kcal), protéines 1,6 g, lipides 0,4 g, glucides 3,2 g, fibres 2,6 g, Ca 33 mg, Mg 19 mg, P 34 mg, Fe 1,2 mg, Zn 0,2 mg, carotène 145 µg, thiamine 0,06 mg, riboflavine 0,03 mg, traces de niacine, et acide ascorbique 18 mg (Holland, Unwin & Buss, 1991). De nombreux cultivars améliorés montrent une forte réduction des bandes vasculaires fibreuses au niveau des sutures des gousses ("haricots d'Espagne sans fils").

La racine tubérisée du haricot d'Espagne est comestible, mais elle est fibreuse et susceptible de contenir des substances toxiques, que l'on peut faire disparaître par trempage ou en ôtant la pelure et en jetant l'eau de cuisson.

La coccinine, un peptide isolé de la graine du haricot d'Espagne, a manifesté une efficacité antifongique contre tout un ensemble de champignons. Elle a également inhibé la prolifération de lignées de cellules leucémiques et réduit l'activité de la transcriptase inverse du VIH-1.

Description Plante herbacée vivace grimpante (à rames), à tiges atteignant 4(–7) m de long ou plante herbacée annuelle buissonnante (naine) atteignant 60 cm de haut ; racine pivotante tubérisée. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules triangulaires ; pétiole de (6–)8,5–10,5(–16) cm de long, rachis de (1,5–)2,5–4(–5) cm de long ; stipelles d'environ 5 mm de long ; folioles ovales-rhombiques, de (5–)6,5–10,5(–12,5) cm × (3,5–)5–8,5(–12,5) cm, base cunéiforme ou tronquée, apex aigu, finement pubescentes à glabrescentes. Inflorescence : grappe axillaire ou terminale, portant de nombreuses fleurs ; pédoncule de (5–)11–16,5(–25,5) cm de long ; rachis de (2–)10–16(–39,5) cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 0,5–1,5 cm de long ; calice campanulé, glabrescent, tube d'environ 3 mm de long, les 2 lobes supérieurs réunis, les 3 lobes inférieurs triangulaires, d'environ 1 mm de long ; corolle écarlate, rose ou blanche, étendard cucullé, circulaire ou largement obovale, d'environ 17 mm × 17 mm, ailes largement obovales, d'environ 25



Phaseolus coccineus – 1, partie d'un rameau en fleurs ; 2, fruit ; 3, graine.
Source: PROSEA

mm × 17 mm, carène spiralée, d'environ 10 mm de long ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, d'environ 6 mm de long, finement pubescent, style spiralé, à collier de poils en dessous du stigmate. Fruit : gousse linéaire-lancéolée, droite ou légèrement courbe, de (4,5–)9–13(–30) cm × 1,5–2,5 cm, comprimée latéralement, pourvue d'un bec, glabrescente, rugueuse à petites côtes obliques, contenant (1–)3–5(–10) graines. Graines ellipsoïdes-oblongues, de 13–25 mm × 6–13(–16) mm, noires, blanches, crème ou brunes, souvent marbrées de rose à violet. Plantule à germination hypogée ; première paire de feuilles simples et opposées.

Autres données botaniques Le genre *Phaseolus* comprend une cinquantaine d'espèces, la plupart se trouvant sur le continent américain. *Phaseolus coccineus* s'apparente étroitement à *Phaseolus dumosus* Macfad. (synonyme : *Phaseolus polyanthus* Greenman ; "year bean") et à *Phaseolus costaricensis* Freytag & Debouck. Des hybrides entre *Phaseolus coccineus* et ces 2 espèces ont été obtenus ; il existe également une hybridation naturelle. Les 3 espèces peuvent se croiser avec le haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.), lorsque ce dernier est le parent femelle, et sans sauvetage d'embryons, même s'il peut y avoir une stérilité partielle de la descendance. Lorsque le haricot d'Espagne et le haricot commun poussent au même endroit, il peut y avoir une hybridation naturelle. L'hybridation du haricot d'Espagne avec le haricot tépari (*Phaseolus acutifolius* A.Gray) est également possible.

Phaseolus coccineus est une espèce variable, et le niveau de variabilité génétique est élevé, tant dans les populations sauvages que cultivées. Il existe un type à graines blanches de *Phaseolus coccineus*, connu au Kenya et en Afrique du Sud sous le nom de "butter bean", mais ce nom s'applique normalement à *Phaseolus lunatus* L. En Ouganda, où la culture se pratique dans le district de Nakuru en haute altitude, les cultivars à graines blanches sont les plus communs.

Croissance et développement Les graines du haricot d'Espagne germent au bout de 10–14 jours après le semis. La floraison débute 40–60 jours après le semis. Les fleurs s'ouvrent au lever du soleil et se fanent au moment où il se couche. *Phaseolus coccineus* est avant tout une espèce allogame. La récolte des gousses vertes débute 3 mois environ après le semis et peut facilement se poursuivre pendant 2–3 mois. Les graines mûres se récoltent au bout de 4–5 mois après le semis. Les cultivars nains produisent plus tôt et moins abondamment que les cultivars à rames. En Amérique centrale, le haricot d'Espagne se cultive parfois comme plante vivace : tandis que les tiges dépérissent pendant les périodes froides, la racine pivotante tubérisée reste viable et produit de nouvelles tiges lorsque la chaleur revient. Mais dans les régions tempérées, le haricot d'Espagne se cultive comme une annuelle. Le haricot d'Espagne fixe l'azote atmosphérique par symbiose avec des bactéries *Rhizobium* à croissance rapide.

Ecologie Le haricot d'Espagne est une culture de climats tempérés. Sous les tropiques, elle réussit mieux à des altitudes de 1500–2000 m. Au Kenya, ces altitudes sont de 1900–2600 m, et en Ethiopie d'environ 2000 m. Le haricot d'Espagne tolère mieux le froid que les autres espèces de *Phaseolus*, mais il y a des dégâts en dessous de 5°C. A des températures supérieures à 25°C, le développement des fruits est inhibé. Extrêmement sensible à la sécheresse, le haricot d'Espagne a besoin que les précipitations soient bien réparties pendant toute sa période de croissance. En Ethiopie, sa culture réussit dans les régions où la pluviométrie an-

nuelle moyenne est de 1500 mm. Il lui faut un taux d'humidité relative élevé pour que les graines se forment. Le haricot d'Espagne comprend des types à jours courts et des types non sensibles à la photopériode.
Le haricot d'Espagne est adapté à toutes sortes de sols, avec une préférence pour des sols profonds, limoneux, bien drainés, à texture légère à moyenne, et à pH 6–7. L'asphyxie racinaire n'est pas tolérée.

Multiplication et plantation Le haricot d'Espagne se multiplie habituellement par graines, mais on peut aussi le multiplier par sa racine tubérisée sur laquelle on laisse un morceau de tige. Le poids de 1000 graines est de 700–3000 g. Le lit de semis doit être bien préparé et exempt de mauvaises herbes. Les densités de semis normales sont de 50 000–75 000 pieds/ha pour les types à rames et le double pour les types nains, ce qui nécessite environ 75 kg de graines par ha pour le premier, et 150 kg pour le second. Mais on a noté des densités moindres. A l'île Maurice, le haricot d'Espagne se sème en lignes espacées de 100 cm en ménageant 30 cm sur la ligne. La profondeur de semis est de 2,5–5 cm. En Amérique centrale, le haricot d'Espagne est souvent cultivé en association avec du maïs.

Gestion Pour obtenir des gousses de grande qualité, on fait pousser le haricot d'Espagne sur des treillages, des tuteurs, des palissades ou d'autres types de supports. Mais la main d'œuvre et les équipements nécessaires sont importants, ce qui peut constituer un frein à la culture. Les types à rames peuvent se passer de soutien pour produire si on pince les tiges dominantes pour induire une croissance buissonnante. Il faut débarrasser le haricot d'Espagne des mauvaises herbes pendant les premiers stades de croissance ; en général on désherbe une ou deux fois. Le sol ne doit pas être travaillé trop en profondeur pour éviter d'endommager les racines. Une irrigation complémentaire est bénéfique. En Ethiopie, le haricot d'Espagne est cultivé dans les jardins.

Maladies et ravageurs Sous les tropiques, le haricot d'Espagne est affecté par l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) et la fusariose (*Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*). La graisse à halo (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*, synonyme : *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*), transmise par la graine, a été isolée chez le haricot d'Espagne en Afrique du Sud.

Récolte Les gousses vertes du haricot d'Espagne se récoltent quand la longueur de la gousse atteint son maximum, avant la phase de développement rapide des graines. D'ordinaire, on les ramasse à 4–5 jours d'intervalle. Pour une production de graines sèches, on arrache les plantes ou on les coupe lorsque la plupart des gousses sont sèches, puis on les laisse sécher pendant quelques jours. Une autre méthode consiste à cueillir les gousses à la main en plusieurs passages, parce que la maturité est asynchrone.

Rendements Des rendements de 10 t/ha de gousses vertes et de 1,5 t/ha de graines sont possibles. Le rendement en graines sèches mûres au Kenya a été évalué à 900–1100 kg/ha.

Traitement après récolte Le séchage des gousses terminé, on procède au battage.

Ressources génétiques Au Brésil, 428 entrées sont conservées par l'EMBRAPA/CENARGEN de Brasilia. D'importantes collections de ressources génétiques de haricot d'Espagne sont également maintenues aux Etats-Unis (USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station, à Pullman, Washington, 478 entrées provenant du monde entier, y compris l'Ethiopie et le Kenya) et au Mexique (Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, Universidad Autónoma Chapingo, à Chapingo, 311 entrées). En Afrique, 6 entrées sont conservées en Afrique du Sud (Division of Plant and Seed Control, Department of Agriculture, Pretoria) et 1 en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba).

Sélection Les travaux de sélection sur le haricot d'Espagne ont porté sur l'amélioration de la qualité culinaire (absence de fils) et la résistance aux maladies. La sélection en vue d'une amélioration de la cuisson est prometteuse étant donné que les protéines des graines du haricot d'Espagne sont davantage polymorphes que celles du haricot commun. Pour la production de graines sèches, l'amélioration du port de la plante et des gousses plus courtes sont des objectifs de sélection appropriés. Des cultivars à croissance déterminée et adaptés à une récolte mécanique ('Venere' et 'Alarico') ont été mis au point en Italie, en procédant à des croisements de *Phaseolus coccineus* avec des cultivars déterminés de *Phaseolus vulgaris* et par rétrocroisements répétés avec *Phaseolus coccineus*.
Des niveaux moyens de résistance au flétrissement bactérien (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*), à la fusariose (*Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*) et à la pourriture blanche (*Sclerotinia sclerotiorum*) ont été transférés du haricot d'Espagne au haricot commun. Le haricot d'Es-

pagne est également considéré comme une source potentielle de résistance contre d'autres maladies du haricot commun, dont l'anthracnose, l'ascochytose (*Phoma exigua*), les taches anguleuses des feuilles (*Phaeoisariopsis griseola*), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*) et la rouille (*Uromyces appendiculatus*). Une tolérance très importante aux mouches du haricot (*Ophiomyia* spp.) a été détectée chez le haricot d'Espagne, et transférée au haricot commun. Dans l'autre sens, la résistance à la graisse à halo a été transférée du haricot commun au haricot d'Espagne.
La régénération de plantes in vitro est possible à l'aide des cotylédons, grâce à l'organogenèse directe, ainsi qu'à l'embryogenèse somatique par culture de tissus.

Perspectives Le haricot d'Espagne est un légume frais et sec qui convient aux régions tropicales humides d'altitude ; toutefois, la nécessité de lui procurer des supports et la maturation inégale des gousses constituent des inconvénients importants pour une production commerciale. Il se peut que le haricot d'Espagne offre un potentiel en altitude en Afrique tropicale, mais on a besoin d'en savoir plus sur les pratiques de semis et de conduite appropriées. C'est une source potentielle de résistance aux maladies et aux ravageurs qui affectent le haricot commun.

Références principales Campion, 1995; Debouck & Smartt, 1995; Freytag & Debouck, 2002; Gepts (Editor), 1988; Kay, 1979; Singh, 2001; Smartt, 1989a; Suttie, 1969; Webster, Ross & Sigourney, 1980; Westphal, 1974.

Autres références Duke, 1981; du Puy et al., 2002; Escalante et al., 1994; FAO, 1989; Fourie, 1998; Hidalgo & Beebe, 1997; Holland, Unwin & Buss, 1991; Kaplan & Lynch, 1999; Knudsen (Editor), 2000; Leung, Busson & Jardin, 1968; Liebenberg, 1995; Mahuku et al., 2002a; Mahuku et al., 2002b; Nagl, Ignacimuthu & Becker, 1997; Ngai & Ng, 2004; Schmit & Baudoin, 1992; Smartt, 1976; Summerfield & Roberts (Editors), 1985; Thulin, 1989a; Yu, Stall & Vallejos, 1998.

Sources de l'illustration Smartt, 1989a.

Auteurs M. Brink

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

PHASEOLUS LUNATUS L.

Protologue Sp. pl. 2: 724 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Noms vernaculaires Haricot de Lima, pois du Cap, pois souche, pois savon (Fr). Lima bean, butter bean, Madagascar bean (En). Feijão de Lima, feijão favona, feijão espadinho (Po). Mfiwi (Sw).

Origine et répartition géographique Le haricot de Lima est d'origine néotropicale, avec au moins deux centres de domestication : l'Amérique centrale (Mexique, Guatemala) pour les types à petites graines et l'Amérique du Sud (essentiellement le Pérou) pour les types à grosses graines. Cette distinction coïncide avec une classification en 2 types (mésoaméricain et andin) établie sur la base des caractères morphologiques, écologiques, protéiniques et moléculaires. Les formes sauvages et cultivées de la même race sont regroupées. Les populations sauvages andines ont une répartition géographique très restreinte (l'Equateur et le nord du Pérou). Les types sauvages mésoaméricains vont du Mexique à l'Argentine, en passant par le flanc est des Andes. Des découvertes récentes ont conduit à former l'hypothèse qu'il existe 3 centres primaires de diversité génétique, dont 2 sont également des centres de domestication : un centre de diversité génétique et de domestication sur le versant occidental des Andes au sud de l'Equateur et au nord du Pérou ; un centre de diversité génétique et de domestication en Amérique centrale ; et un centre de diversité génétique dans la région qui couvre le nord du Pérou, le nord de la Colom-



Phaseolus lunatus – planté

bie, le nord de l'Equateur et l'ouest du Venezuela.
A l'époque post-colombienne, le haricot de Lima s'est répandu sur la totalité du continent américain. Les Espagnols ont introduit les graines aux Philippines, via le Pacifique, d'où elles se sont diffusées dans d'autres régions d'Asie, principalement à Java et au Myanmar (Birmanie) ainsi qu'à l'île Maurice. C'est le commerce des esclaves qui entraina l'introduction du haricot de Lima depuis le Brésil vers Afrique, notamment dans les régions de l'ouest et du centre. Certains types à grosses graines originaires de la côte péruvienne se sont diffusés au sud-ouest de Madagascar et au sud de la Californie. Aujourd'hui, le haricot de Lima est cultivé à travers toute l'Afrique tropicale et dans le reste des tropiques, où il s'est souvent naturalisé.

Usages Le haricot de Lima est cultivé avant tout pour ses graines immatures ou sèches ; en Afrique tropicale, celles-ci se mangent généralement cuites à l'eau, à l'huile ou au four. Au Nigeria, on les cuisine également avec du maïs, du riz ou de l'igname et elles servent à préparer des soupes et des ragoûts particuliers. Les Yorubas en font des bouillies, des desserts et des gâteaux. Dans des pays comme le Ghana et le Malawi, les graines vertes immatures, les jeunes gousses et les feuilles se mangent en légume. Aux Etats-Unis, le haricot de Lima frais ou sec est transformé de façon industrielle, appertisé ou congelé. Les germes et les jeunes plantes se cuisinent et se consomment dans de nombreux pays asiatiques.
Les graines s'emploient parfois comme fourrage mais, crues, elles peuvent provoquer des empoisonnements à l'acide cyanhydrique. Les feuilles et les tiges peuvent être transformées en foin ou en ensilage. Au Sénégal et en R.D. du Congo, le jus des feuilles sert à préparer des instillations nasales contre les maux de tête et des gouttes contre les otites. Au Nigeria, les graines sont réduites en poudre et frottées dans de petites coupures effectuées sur des tumeurs et des abcès pour favoriser leur suppuration. En médecine traditionnelle asiatique, graines et feuilles sont appréciées pour leurs propriétés astringentes ; elles servent d'aliment en cas de fièvre. Le haricot de Lima a été cultivé comme plante de couverture et comme engrais vert.

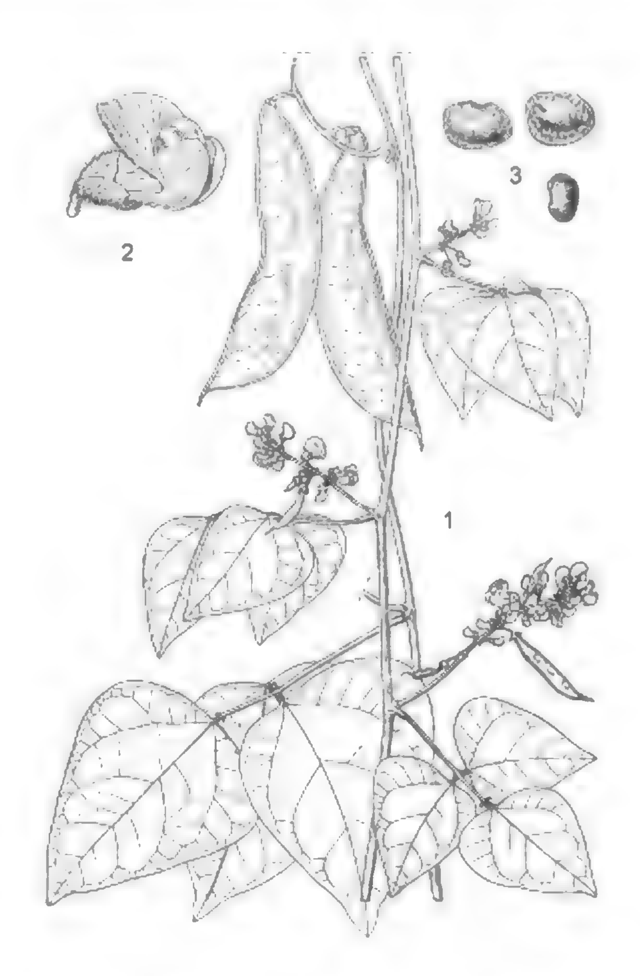
Production et commerce international Les statistiques de production de haricot de Lima qui proviennent de nombreuses régions tropicales sont fragmentaires, et souvent amalgamées avec celles d'autres légumes secs. Les Etats-Unis sont le plus gros producteur, avec près de 21 000 ha cultivés (principalement en Californie, au Delaware, au Maryland et au Wisconsin) et une production de haricots (surtout frais) d'environ 70 000 t en 1995. En seconde position vient Madagascar, avec une superficie cultivée qui varie entre 3000 et 19 000 ha (principalement dans les plaines inondables de la région côtière semi-aride située dans le sud-ouest) et une production de graines sèches d'environ 8000 t constituées presque exclusivement de types à grosses graines blanches. Le Pérou occupe la troisième place, avec 5000–5500 t de graines sèches, produites sur 5000–6000 ha. Dans les autres pays, le haricot de Lima se cultive surtout en jardins familiaux ou comme culture associée, mais il n'existe pas d'estimations sur la superficie ou la production. En Afrique, la superficie pour cette culture, pratiquée dans les zones tropicales subhumides et humides (notamment le Sierra Leone, le Libéria, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Nigeria et la R.D. du Congo) a été évaluée pour les années 1980 à 120 000–200 000 ha, ce qui représentait une production totale de 50 000–100 000 t par an. On ne dispose d'aucune statistique relative aux échanges commerciaux.

Propriétés La composition des graines sèches crues, par 100 g de partie comestible est de : eau 11,6 g, énergie 1214 kJ (290 kcal), protéines 19,1 g, lipides 1,7 g, glucides 52,9 g, fibres alimentaires 19,4 g, Ca 85 mg, Mg 190 mg, P 320 mg, Fe 5,9 mg, Zn 2,8 mg, carotène : traces, thiamine 0,45 mg, riboflavine 0,13 mg, niacine 2,5 mg, vitamine B_6 0,51 mg et acide ascorbique : traces (Holland, Unwin & Buss, 1991). La composition en acides aminés essentiels par 100 g de graines sèches crues, est de : tryptophane 180 mg, lysine 1440 mg, méthionine 280 mg, phénylalanine 1160 mg, thréonine 800 mg, valine 980 mg, leucine 1560 mg, isoleucine 950 mg (Paul, Southgate & Russell, 1980). Comme chez les autres légumes secs, les principaux acides aminés limitants sont la méthionine et la cystine. Parmi les facteurs antimétaboliques, il faut citer les inhibiteurs de protéase, les lectines et les glucosides cyanogènes (linamarine ou phaséolunatine). Ces derniers s'accompagnent d'un enzyme, la linamarase, qui peut hydrolyser les glucosides en un sucre et un aglycone, lequel se fractionne à son tour en acétone et en acide cyanhydrique (HCN). L'hydrolyse intervient rapidement lorsqu'on fait cuire les graines à l'eau après trempage ; ensuite la plus grande partie de

l'HCN s'évapore. La linamarine et la linamarase sont sensibles à la chaleur mais inactivées à d'autres températures : 140°C pour le glucoside et 80°C pour l'enzyme. Si l'inactivation des enzymes a lieu avant la fin de l'hydrolyse, il se peut que le glucoside résiduel se dissolve dans l'organisme humain sous l'influence des enzymes sécrétées par la microflore intestinale et provoque un empoisonnement. La teneur en HCN est nettement plus élevée chez les types sauvages (2000–2400 ppm) que chez les types cultivés (100–120 ppm). Un trempage à l'eau des graines pendant une nuit élimine facilement la toxicité apparente ; ceci s'explique par la libération de HCN pendant le processus. Au Nigeria, il faut cuire les graines sèches pendant 1–1,5 heures. Au Malawi, on a noté des temps de cuisson de 2–2,5 heures pour les graines sèches non trempées, et de 1,5–2 heures pour les graines sèches trempées.

Par 100 g de partie comestible, les gousses vertes contiennent 1,3 g de protéines et les feuilles vertes 0,6 g. Les graines immatures de haricot de Lima contiennent, par 100 g de partie comestible : eau 66,3 g, protéines 8,3 g, lipides 0,7 g, glucides 23,1 g, fibres 1,0 g, Ca 28 mg, P 111 mg, Fe 2,6 mg, vitamine A 65 UI, thiamine 0,15 mg, riboflavine 0,10 mg, niacine 1,20 mg et acide ascorbique 27,0 mg (Kay, 1979). L'ensilage de haricot de Lima contient 27,3% de matière sèche, 3,3% de protéines, 2,1% de protéines assimilables et 14,2% de nutriments assimilables.

Description Plante herbacée annuelle ou vivace, grimpante, rampante ou plus ou moins buissonnante, à tiges glabres ou pubescentes atteignant 4,5(–8) m de long ; racines fines ou renflées, atteignant 2 m de profondeur. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules ovales à lancéolées, atteignant 2–4 mm de long ; pétiole de 1,5–19 cm de long, rachis de 0,5–5(–8) cm de long ; stipelles de 1–2 mm de long ; folioles ovales, de 3–19,5 cm × 1–11 cm, aiguës ou acuminées, légèrement pubescentes ou glabres. Inflorescence : grappe axillaire ou panicule atteignant 15(–40) cm de long, avec de nombreux nœuds, à fleurs peu nombreuses à nombreuses. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 5–10 mm de long ; calice campanulé, de 2,5–3,5 mm de long, pubérulent, les 2 lobes supérieurs réunis en un seul, les 3 lobes inférieurs largement triangulaires ; corolle de 7–10 mm de large, étendard cucullé, de 5–7 mm × 5–10 mm, blanc, vert pâle ou rose violet, ailes spatulées à obovales, de 7–10 mm de long, blanches ou violettes, carène brusquement recourbée, blanche ou vert pâle ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, d'environ 3 mm de long, finement poilu, style pourvu d'une spirale terminale et d'un collet de poils sous le stigmate. Fruit : gousse oblongue de (4,5–)5–10,5(–13) cm × 1–2(–3) cm, comprimée, généralement courbe, pourvue d'un bec, glabre ou pubescente, contenant 2–4(–5) graines. Graines réniformes à rhomboïdes ou globuleuses, de 8–11 mm × 6–7 mm, blanches, vertes, jaunes, brunes, rouges, violettes, noires ou diversement marbrées, souvent à lignes transversales qui rayonnent à partir du hile. Plantule à germination épigée ; première paire de feuilles simple et opposée.



Phaseolus lunatus – 1, rameaux en fleurs et en fruits ; 2, fleur ; 3, graines.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Phaseolus* comprend environ 50 espèces, dont la plupart se trouvent dans les Amériques. Les formes sauvages et cultivées de *Phaseolus lunatus* ont été distinguées comme var. *silvester* Baudet et var. *lunatus*, respectivement. On a distingué certains groupes de cultivars au sein des formes cultivées : le Groupe Sieva aux graines aplaties de taille moyenne, le Groupe

Potato aux graines petites et globuleuses et le Groupe Big Lima aux grandes graines aplaties. Les formes sauvages originaires des Andes semblent les plus proches des formes cultivées.

Au Malawi, on distingue et on nomme les types de haricot de Lima en fonction de la taille et de la forme des graines, par ex. le "mayemba" (grosses graines mouchetées de blanc ou de noir, légèrement amères, tégument moyennement dur), le "butter" ou "Madagascar" (grosses graines blanches aplaties, savoureuses, tégument moux et sans goût), le "moki" (petites graines blanches aplaties, savoureuses, tégument moyennement dur) et "pebugale" (forme de graine variable, de couleur rose pâle, mouchetée de rouge, légèrement amère et à tégument dur).

Croissance et développement La germination du haricot de Lima a lieu 4–10 jours après le semis. Au bout d'un mois, la croissance végétative s'accélère. Lors d'un semis en conditions de jours courts, les fleurs apparaissent après 35–70 jours et les gousses mûres après 80–120 jours. Le haricot de Lima cultivé possède deux types de croissance distincts : un port indéterminé (prostré ou grimpant, à floraison axillaire uniquement) et l'autre pseudo-déterminé (plantes naines ou buissonnantes, à floraison terminale et axillaire). Le cycle végétatif des types à croissance pseudo-déterminée est plus court que celui des types à croissance indéterminée. Les cultivars buissonnants les plus précoces mûrissent en 90 jours, tandis que les types grimpants ont besoin de 6–9 mois. Chez les types grimpants, la floraison et la fructification peuvent se prolonger pendant toute la saison des pluies. Le mode de croissance des types vivaces sauvages est toujours indéterminé.

Le pollen et le stigmate mûrissent simultanément et en voisinage immédiat à l'intérieur du bouton non ouvert, ce qui favorise l'autofécondation. Mais la pollinisation croisée est fréquente également. Une pression exercée par les insectes sur les ailes des fleurs ouvertes complètement force le stigmate et le style à dépasser de la carène. Ainsi exposé, le stigmate demeure réceptif au pollen pendant plusieurs heures. Les abeilles butinent à la fois le pollen et le nectar. Au champ, 75–85% des boutons, des fleurs et des jeunes gousses tombent. Les inflorescences à floraison précoce sont plus productives que les tardives, et les nœuds situés à la base de l'inflorescence sont souvent plus fructifères que ceux du haut. La fructification continue jusqu'à ce qu'un "seuil de capacité" soit atteint ; à ce moment-là, les structures reproductives restantes tombent. Le haricot de Lima peut fixer l'azote par symbiose avec des bactéries *Bradyrhizobium*.

Ecologie Particulièrement bien adapté aux climats tropicaux humides et subhumides de basse altitude, le haricot de Lima se cultive dans des conditions écologiques très diverses. On le trouve aussi bien dans des zones chaudes tempérées que des régions tropicales arides et semi-arides. On le rencontre depuis le niveau de la mer jusqu'au-dessus de 2000 m. Il comprend des types insensibles à la photopériode qui fleurissent même lorsque la longueur du jour atteint 18 heures, et des types à jours courts qui ont besoin d'une longueur du jour ne dépassant pas 11–12,5 heures pour l'initiation florale. Les températures optimales sont de 16–27°C ; le gel n'est pas toléré. Il faut des précipitations de 900–1500 mm par an en moyenne, mais une fois établie, la culture supporte des précipitations faibles, de l'ordre de 500–600 mm. Certains types ont la réputation de très bien résister à la sécheresse en raison de leur système racinaire profond et bien développé. Le haricot de Lima préfère les sols bien aérés et bien drainés avec un pH de 6,0–6,8. Mais certains cultivars supportent les sols acides avec un pH de seulement 4,4.

Multiplication et plantation Le haricot de Lima est reproduit par graines. Le poids des graines varie de 30 à 300 g par 100 graines. Les types buissonnants sont généralement espacés de 20–30 cm sur la ligne et de 60–100 cm entre les lignes, les types grimpants pouvant être plantés quant à eux sur des buttes espacées de 90–200 cm. Le haricot de Lima peut se mettre en place par groupes de 3–4 plantes, espacées d'au moins 1 m. La densité de semis se situe dans une fourchette de 55–80 kg/ha pour les cultivars à petites graines et de 130–160 kg/ha pour les types à grandes graines. La densité de plantation dans le sud-ouest de Madagascar est de (500–)2100(–4500) poquets par ha, et de 3–5 graines par poquet.

Dans les régions tropicales plus humides, le haricot de Lima est la plupart du temps cultivé dans les jardins familiaux ou en association avec des céréales (maïs, sorgho), des plantes à racines ou à tubercules (igname, manioc) ou d'autres plantes (comme le bananier, l'arachide ou la canne à sucre). La culture pure se pratique surtout dans les régions plus sèches (Madagascar, Pérou). Dans le cas d'une culture associée, il est fréquent de disposer les graines sur la même butte que la plante qu'elles ac-

compagnent.

Gestion Le désherbage est nécessaire au début de la croissance du haricot de Lima. En Afrique, il s'effectue habituellement jusqu'à 3 fois. Dans les régions humides, les types grimpants sont tuteurés. Sans ces tuteurs, les plantes ont tendance à moins produire parce qu'elles peuvent moins bien étaler leur feuillage, et la qualité des graines est inférieure parce que les gousses reposent parfois sur le sol. Dans certains endroits d'Afrique de l'Ouest, où le haricot de Lima est cultivé en association avec du maïs ou du sorgho, ces céréales procurent un support aux types grimpants. Le haricot de Lima peut aussi se planter après une culture d'igname ; dans ce cas, les mêmes tuteurs servent de soutien. Dans les zones de climat sec (Madagascar, Californie et Pérou), le haricot de Lima peut être cultivé sans tuteurs et on l'arrose 2–4 fois avant sa maturité. Dans la partie sud-ouest de Madagascar, ce haricot se plante sur les sols alluviaux, sur buttes ou billons, lors de la décrue d'une rivière proche, ou bien avec irrigation depuis la rivière. On n'applique généralement pas d'engrais sous les tropiques. Sinon, l'engrais est souvent apporté à la plantation, en bandes sous les graines ou à côté de celles-ci. Des compléments azotés et phosphorés peuvent être épandus au début de l'apparition des boutons floraux et pendant la formation des fruits. Le haricot de Lima peut être installé à la suite d'une culture qui a reçu de bons apports en engrais, profitant ainsi des engrais résiduels, notamment phosphorés.

Maladies et ravageurs Sous les tropiques, les maladies les plus graves du haricot de Lima sont le rhizoctone *Rhizoctonia solani*, la maladie du pied du haricot (*Fusarium solani*), l'anthracnose (*Colletotrichum* spp.), le mildiou (*Phytophthora phaseoli*), la graisse bactérienne (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) et deux maladies virales : le virus de la mosaïque dorée du haricot de Lima (LGMV) transmis par aleurodes (*Bemisia* sp.) et le virus de la marbrure verte du haricot de Lima (LBGrMV) transmis par pucerons. Il est recommandé d'avoir recours à des fongicides pour lutter contre les maladies fongiques. Pour la graisse bactérienne, les mesures de lutte conseillées sont l'utilisation de semences exemptes de maladies et la rotation des cultures.
Les nématodes à galles (principalement *Meloidogyne incognita*) peuvent faire chuter considérablement le rendement. Mais une rotation avec des céréales peut réduire la population des nématodes présents dans le sol. La coccinelle mexicaine du haricot (*Epilachna varivestis*), les pucerons (principalement *Aphis craccivora*), une cicadelle (*Empoasca dolichi*), le thrips des fleurs (*Megalurothrips sjostedti*), les foreurs de gousses (*Maruca vitrata*, *Cydia* sp. et *Etiella* sp.), ainsi que les bruches (*Callosobruchus*, *Acanthoscelides* et *Zabrotes* spp.) sont des ravageurs importants. Il est recommandé d'utiliser contre eux des moyens de lutte chimique (par ex. de l'endosulfan).

Récolte Les gousses vertes et mûres des types grimpants du haricot de Lima se ramassent généralement à la main sur une longue période (4–6 semaines). Dans les régions chaudes (Madagascar), on coupe les plantes entières et on les fait sécher au champ avant d'en ôter les gousses et de donner les tiges à manger au bétail. Avec les cultivars érigés dont la maturité est homogène et dont les gousses se tiennent bien au-dessus de la surface du sol, une récolte mécanisée est envisageable.

Rendements Sous les tropiques, les rendements en graines sèches de haricot de Lima vont de 200–600 kg/ha en culture associée à 1000–1500 kg/ha en culture pure. Dans le sud-ouest de Madagascar, les rendements sont de (50–)400(–950) kg/ha. Dans des essais, les rendements en graines sèches de cultures pures ont atteint 2000–2500 kg/ha pour les types buissonnants et 3000–4000 kg/ha pour les types grimpants. A Madagascar, on a obtenu des rendements de 15 t par ha de matière fraîche en culture fourragère.

Traitement après récolte Les gousses de haricot de Lima sont habituellement battues manuellement et les graines sont nettoyées et triées. Le battage doit être effectué avec soin, car les graines, fragiles, s'endommagent facilement. Dans nombre de pays tropicaux, les graines se conservent parfois dans des jarres ou des paniers, et on les recouvre d'une couche de sable ou de cendres pour les protéger des infestations de bruches.

Ressources génétiques Il existe un véritable risque de perte de diversité génétique pour le haricot de Lima, autant dans ses centres primaires de diversité (en Amérique latine) que dans les centres secondaires où se trouvent les types cultivés (l'Afrique et une partie de l'Asie). Plus de 2600 entrées de haricot de Lima sont disponibles dans les collections du CIAT (Centre international d'agriculture tropicale) de Cali (Colombie) ; les graines proviennent principalement d'Amérique du Sud et centrale, d'Afrique de l'Ouest (surtout du Ghana et du

Nigeria), d'Afrique centrale et de l'Est, de Madagascar, d'Inde, des Philippines et du Myanmar. Les types sauvages et adventices représentent 3–5% de la collection totale. Parmi les types cultivés, deux groupes prédominent : le Groupe Sieva et le Groupe Potato. Les entrées du Groupe Big Lima viennent de quelques régions restreintes, comme la région des Andes en Amérique du Sud ou le désert côtier du Pérou. D'après l'IPGRI, il existe d'autres grandes collections de haricots de Lima en Indonésie (Research and Development Centre for Biology (RDCB), Bogor, 3850 entrées), aux Etats-Unis (Regional Plant Introduction Station, Washington State University, Pullman, Washington, 1060 entrées), au Brésil (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Brasilia, 980 entrées), aux Philippines (National Plant Genetic Resources Laboratory, University of the Philippines Los Baños (UPLB), College, Laguna, 780 entrées) et au Costa Rica (Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica (UCR), San Pedro de Montes de Oca, 400 entrées). En Afrique tropicale, de petites collections de haricot de Lima existent au Ghana (Plant Genetic Resources Centre, Crops Research Institute, Bunso, 40 entrées ; à l'université du Ghana, Accra, 8 entrées), au Togo (Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières, Lomé, 36 entrées ; Direction de la recherche agronomique (DRA), Lomé, 17 entrées), en Guinée (Programme de conservation des ressources phytogénétiques, Institut de recherche, Conakry, 34 entrées), au Sénégal (Institut sénégalais de recherches agricoles (ISRA), Dakar, 23 entrées), au Nigeria (International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, 15 entrées), au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu, 12 entrées) et en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abéba, 2 entrées). Le Jardin botanique national de Belgique, à Meise, a été désigné par l'IPGRI pour être le conservatoire de base des *Phaseolus* sauvages, qui comprend des entrées sauvages de *Phaseolus lunatus* et des espèces apparentées.

Sélection L'évaluation et l'amélioration génétique à partir des collections internationales ont été menées à l'IITA (à Ibadan, au Nigeria) entre 1973 et 1980, et ultérieurement au CIAT (à Cali, en Colombie) entre 1980 et 1992, les objectifs généraux étant d'augmenter le rendement en graines sèches, d'améliorer la résistance aux ravageurs et aux maladies et d'améliorer la qualité nutritionnelle des graines. Des programmes d'amélioration du haricot de Lima à petite échelle à l'aide de collections locales sont menées au Ghana, au Nigeria, en R.D. du Congo, en Zambie et à Madagascar. Les méthodes adoptées sont la sélection de lignées pures et la sélection massale de populations ; les systèmes de culture visés comprennent aussi bien la culture pure que les cultures associées. Un port dressé, la résistance à la verse et au rhizoctone constituent les critères essentiels dans l'amélioration des types buissonnants pseudo-déterminés. La précocité, l'insensibilité à la photopériode, la résistance au virus de la mosaïque dorée du haricot de Lima et l'adaptabilité à la culture associée sont recherchées chez les types grimpants. Un certain nombre de types prometteurs ont été identifiés dans les régions tropicales humides parmi les formes grimpantes. Un vaste pool génique secondaire est disponible pour l'amélioration et les espèces sauvages suivantes ont été croisées avec succès avec le haricot de Lima : *Phaseolus jaliscanus* Piper, *Phaseolus maculatus* Scheele, *Phaseolus polystachyus* (L.) Britton, Sterns & Poggenb. et *Phaseolus salicifolius* Piper. L'introgression de gènes utiles des taxons sauvages (par ex. la résistance à la mosaïque dorée du haricot de Lima) a été observée dans du matériel de sélection issu de croisements interspécifiques. De nombreux cultivars commerciaux de haricot de Lima ont été obtenus aux Etats-Unis.

Perspectives En raison de son fort potentiel de rendement, son enracinement profond et sa tolérance à la sécheresse, le haricot de Lima offre de bonnes perspectives en Afrique tropicale. Des études préliminaires ont fait ressortir le fort potentiel et la grande diversité des ressources génétiques de *Phaseolus lunatus*. Des progrès ont été accomplis dans la sélection, surtout dans les régions situées hors de son centre d'origine (par exemple sous les climats tempérés des Etats-Unis). Mais beaucoup reste à faire dans de nombreuses régions des tropiques, notamment pour mettre au point des cultivars plus stables et plus productifs destinés aux zones tropicales humides, subhumides et semi-arides. Les efforts de sélection doivent porter sur les deux modes de croissance indépendamment l'un de l'autre. Les types grimpants indéterminés ont généralement des rendements en graines sèches élevés mais instables et nécessitent un système de tuteurage onéreux. Dans les régions tropicales, ces types sont principalement cultivés en association avec des céréales ou des plantes à racines ou à

tubercules. Et jusqu'à maintenant, on a sélectionné peu de génotypes adaptés à la culture associée, ce qui explique la médiocre performance du haricot de Lima grimpant dans ces systèmes, malgré son fort potentiel. Ce sont les types buissonnants pseudo-déterminés qui sont les plus appropriés à la culture pure et aux systèmes d'agriculture intensive. Mais les résultats sont décourageants, surtout dans les tropiques humides, en raison de l'architecture défavorable de la plante (ramification abondante, gousses situées dans le feuillage et verse sévère) et d'une grande sensibilité aux maladies. La clé du succès serait de mettre au point des types buissonnants indéterminés dotés de plusieurs caractères leur conférant une adaptation large, telles que l'enracinement profond, la tolérance à la sécheresse, la résistance aux maladies et un fort potentiel de rendement. La recherche doit se consacrer en priorité à la pleine exploitation de la grande variation génétique disponible dans le pool génique primaire d'origine mésoaméricaine et andine. Mais l'exploitation de pools géniques exotiques et la sélection parmi les populations interspécifiques n'est pas à négliger, si l'on veut relever le défi d'atteindre des rendements élevés et stables sous les tropiques humides.

Références principales Baudoin, 1989; Baudoin, 1991; Baudoin, 2002; Baudoin & Mergeai, 2001b; Burkill, 1995; Fofana, du Jardin & Baudoin, 2001; Freytag & Debouck, 2002; Kay, 1979; Lyman, Baudoin & Hidalgo, 1985; Rollin, 1997.

Autres références Baudet, 1977; Baudoin, 1988; Baudoin, 1993; Berhaut, 1976; Duke, 1981; Ezueh, 1977; Fofana et al., 1999; Gillett et al., 1971; Hauman et al., 1954a; Hepper, 1958; Holland, Unwin & Buss, 1991; ILDIS, 2002; Kee, Glancey & Wootten, 1997; Maquet, Vekemans & Baudoin, 1999; Maquet et al., 1997; Paul, Southgate & Russell, 1980; Polhill, 1990; Schmit et al., 1993; Westphal, 1974; Williamson, 1955.

Sources de l'illustration Baudoin, 1989.

Auteurs J.P. Baudoin

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

PHASEOLUS VULGARIS L. (haricot commun)

Protologue Sp. pl. 2: 723 (1753).

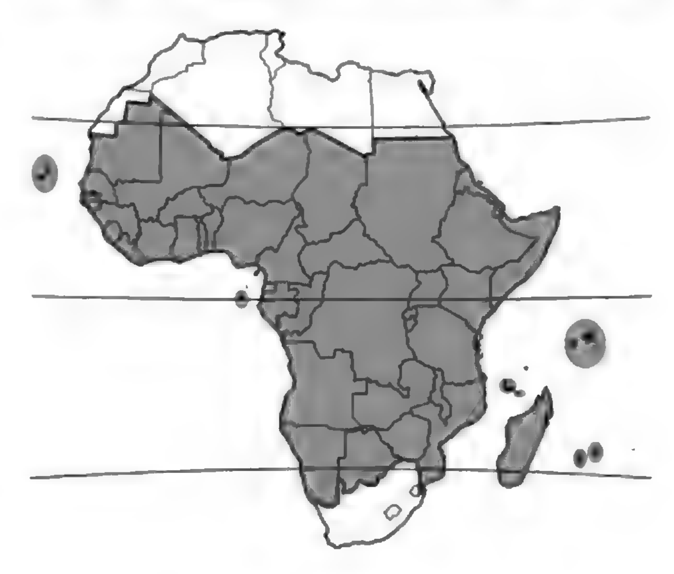
Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes 2n = 22

Noms vernaculaires Haricot commun, haricot (Fr). Common bean, haricot bean, kidney bean, navy bean (En). Feijão, feijoeiro (Po). Mharagwe (Sw).

Origine et répartition géographique Le haricot commun est originaire d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Des écotypes à petites graines et à port grimpant se trouvent à l'état sauvage au nord de l'Argentine et en Amérique centrale. Le haricot commun a été domestiqué indépendamment en Amérique centrale (Mexique et Guatemala) et dans les Andes d'Amérique du Sud (principalement le Pérou). Les pools géniques qui en résultent sont distincts. Des preuves archéologiques indiquent que le haricot commun était déjà une plante domestiquée en 6000 avant J.-C au Pérou et en 5000 avant J.-C. au Mexique. Le haricot commun a été transporté vers d'autres continents depuis le XVIe siècle. Des marchands portugais ont probablement introduit le haricot commun en Afrique à partir du XVIe siècle, via Sofala (Mozambique), Zanzibar et Mombasa, d'où il a été diffusé vers des altitudes plus élevées à l'intérieur par des caravanes d'esclaves et des marchands. Le haricot commun s'est bien établi en tant que légume sec dans certaines régions d'Afrique avant l'ère coloniale. La diversité génétique de la plante et de ses agents pathogènes, ainsi que des preuves linguistiques, indiquent que le haricot commun est devenu une culture essentielle d'abord dans les régions d'altitude de l'Afrique centrale (par ex. au Rwanda et au Burundi) avant les autres régions d'Afrique.

De nos jours, il a une importance mondiale, en particulier en Amérique du Nord et du Sud, en Europe et en Afrique. L'espèce est bien établie dans de nombreux pays africains, mais c'est



Phaseolus vulgaris – planté

dans la région des Grands Lacs d'Afrique centrale que sa culture est la plus intensive. En Afrique tropicale, le haricot commun est une culture vivrière aussi importante pour les zones urbaines que rurales.

Usages Les graines mûres sèches du haricot commun sont consommées comme légume sec dans le monde entier ; ses gousses et graines immatures se mangent comme légume. En Afrique tropicale, le haricot est produit et consommé avant tout comme légume sec. La valeur nutritionnelle de ses graines est reconnue, mais le haricot compte aussi pour la variété et le goût qu'il apporte à des mets riches en glucides, comme ceux à base de maïs ou de banane. Il constitue la principale source de protéines dans différents pays comme le Rwanda, le Burundi et le Kenya. Si le haricot est parfois désigné comme la "viande du pauvre", il est aussi apprécié par des consommateurs plus riches. En Afrique tropicale, le haricot se consomme classiquement cuit à l'eau, souvent avec un assaisonnement et un peu d'huile. On peut aussi en faire des purées ou des soupes. En de nombreux endroits du monde, les graines sèches de haricot sont mises en conserve, soit nature, soit à la sauce tomate.
Les feuilles de haricot se consomment parfois comme légume, par ex. pendant les mois de disette lorsqu'on trouve peu à manger, mais il existe relativement peu de cultivars dont les feuilles sont suffisamment tendres. Les résidus de la plante servent souvent de fourrage. Au Mali, la poudre de graines carbonisées est appliquée sur les blessures.
Dans les zones tempérées du monde, *Phaseolus vulgaris* est surtout cultivé pour ses gousses immatures (haricot vert), que l'on conserve appertisées ou surgelées ou qui se mangent fraîches. En Afrique tropicale, les haricots verts sont une production essentiellement destinée à la vente. Un article distinct de PROTA 2 : "Légumes" traite de *Phaseolus vulgaris* en tant que légume.

Production et commerce international Il est difficile de se procurer des statistiques fiables sur le haricot commun sec car sa production est souvent agrégée à celle des autres espèces de *Phaseolus*. En 2000, la production annuelle mondiale de haricot a été estimée par la FAO à 8,3 millions de t ; le plus gros producteur est le Brésil. L'Afrique produit environ 2 millions de t par an sur environ 3,5 millions d'ha. Les gros producteurs d'Afrique tropicale (100 000–600 000 ha par an) sont la R.D. du Congo, le Rwanda, le Burundi, l'Ethiopie, le Kenya, l'Ouganda, la Tanzanie, le Malawi, l'Angola et le Mozambique ; les petits producteurs (2000–100 000 ha) sont le Cap-Vert, le Niger, le Cameroun, le Soudan, la Zambie et le Zimbabwe. La plus grande part des haricots secs produits en Afrique tropicale est autoconsommée, mais 40% peuvent être commercialisés et approvisionnent les zones urbaines et l'export, ce qui représente une valeur d'US$ 200 millions par an payée au producteur. Les échanges commerciaux avec les pays voisins sont importants. Par exemple, des quantités notables passent de l'Ouganda au Kenya, au Rwanda et au Soudan ; ce qui n'empêche pas l'Ouganda d'en importer éventuellement de ces pays lorsque des déficits se présentent ici et là. Un exemple de commerce de haricots sur de longues distances est le transport entre le Kivu (à l'est de la R.D. du Congo) et Kisangani puis Kinshasa, en redescendant le fleuve Congo. Une partie de la production de haricot est destinée à l'export pour des marchés spécialisés, comme celle d'Ethiopie pour l'Europe et le Proche-Orient, et celle du nord du la Tanzanie aussi pour l'Europe.

Propriétés La composition type du haricot commun, par 100 g de partie comestible, est : eau 11,3 g, énergie 1218 kJ (291 kcal), protéines 21,4 g, lipides 1,6 g, glucides 49,7 g, fibres alimentaires 22,9 g, Ca 180 mg, Mg 180 mg, 310 mg, Fe 6,7 mg, Zn 2,8 mg, traces de carotène, thiamine 0,45 mg, riboflavine 0,13 mg, niacine 2,5 mg, vitamine B_6 0,56 mg, et traces d'acide ascorbique (Holland, Unwin & Buss, 1991). La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 210 mg, lysine 1540 mg, méthionine 240 mg, phénylalanine 1130 mg, thréonine 860 mg, valide 990 mg, leucine 1640 mg et isoleucine 890 mg (Paul, Southgate & Russell, 1980). Le haricot est déficient pour certains acides aminés essentiels, comme la méthionine et la cystine. La composition n'est pas en soi un indicateur fiable de la valeur nutritive, car le haricot est peu digeste. Une bonne part du phosphore est liée à des phytates et les protéines ne sont digestibles qu'à 55–65%. Le haricot nécessite généralement une cuisson longue et il peut s'avérer "dur à cuire", propriété qu'on peut attribuer à des facteurs génétiques et écologiques. Il contient des composés antinutritionnels tels que des lectines (hémagglutinines) et des inhibiteurs de trypsine, mais ils sont inactivés par une cuisson appropriée. Il contient également des tanins et des composés qui provoquent des flatulences.

Son amidon s'est avéré efficace dans la réduction du cholestérol chez le rat, la lectine quant à elle ayant montré une action inhibitrice in vitro contre la transcriptase inverse du VIH-1. Une décoction de gousses a montré des effets hypoglycémiques chez les lapins. Les substances contenues dans le tégument (extraits au méthanol, fractions de tanins et flavonoïdes purs) ont manifesté une activité antioxydante.

Description Plante herbacée annuelle, rampante, grimpante, ou érigée et buissonnante, légèrement pubescente ; racine pivotante bien développée, à racines latérales et adventives nombreuses ; tige atteignant 3 m de long, anguleuse ou presque cylindrique. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules triangulaires, petites ; pétiole atteignant 15(–30) cm de long, cannelé sur le dessus, distinctement épaissi à la base, rachis de (1,5–)2,5–3,5(–6) cm de long ; stipelles petites ; folioles ovales, de (5–)7,5–14(–20) cm × 5–10(–15) cm, les latérales asymétriques, la centrale symétrique, entières, légèrement pubescentes, à 3 nervures partant de la base. Inflorescence : fausse grappe axillaire ou terminale atteignant 15(–35) cm de long, à fleurs disposées en paires le long du rachis ou solitaires. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle atteignant 1 cm de long, mince, à bractéoles ovales ; calice campanulé, tube d'environ 3 mm de long, lobes triangulaires, de 2–3 mm de long ; corolle blanche à violet pâle ou rouge-violet, étendard très largement obovale, cucullé, de 1–1,5 cm de long, ailes obovales, d'environ 2 cm de long, carène brusquement retournée, d'environ 1 cm de long ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, d'environ 0,5 cm de long, comprimé latéralement, style retourné et en forme de spirale, garni d'un collet de poils fins sous le stigmate ellipsoïde. Fruit : gousse linéaire atteignant 20 cm de long, droite ou plus généralement courbe, à bec proéminent, charnue lorsqu'elle est immature, verte ou jaune, parfois rouge, violette ou à zébrures violacées, contenant (2–)5–7(–12) graines. Graines globuleuses à réniformes, ellipsoïdes ou oblongues, de 0,5–1,5(–2) cm de long, noires, brunes, jaunes, rouges ou blanches, parfois à motifs marbrés, panachés ou en forme de selle ; hile oblong à elliptique. Plantule à germination épigée ; cotylédons oblongs, épais ; deux premières feuilles simples et opposées, feuilles suivantes alternes, 3-foliolées.



Phaseolus vulgaris – 1, inflorescence ; 2, rameau en fruits ; 3, graines.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Phaseolus* comprend une cinquantaine d'espèces, la plupart se trouvant dans les Amériques. *Phaseolus vulgaris* est étroitement apparenté à d'autres espèces de *Phaseolus*, comme *Phaseolus coccineus* L. (haricot d'Espagne) et *Phaseolus acutifolius* A.Gray (haricot tépari), assez pour permettre l'hybridation interspécifique.
Les types andins de *Phaseolus vulgaris* tendent à avoir des graines et des feuilles plus grandes que ceux d'Amérique centrale. Dans chaque pool génique on trouve les différents ports de la plante, mais les types nains déterminés et les types grimpants sont plus courants dans le pool andin que dans le pool d'Amérique centrale. En Afrique tropicale, il existe une certaine diversité génétique que l'on ne trouve pas dans les Amériques.
Les types nains érigés sont plus répandus dans les endroits où l'on pratique la récolte mécanisée, mais aussi dans les petites exploitations. Les types à rames sont limités pour la plupart aux régions de haute altitude, en particulier au sud-ouest de l'Ouganda, au Rwanda, au Burundi et dans les régions orientales de la R.D. du Congo, mais ils sont également cultivés au nord et à l'ouest du Malawi, au nord et au sud de la Tanzanie et au nord de la Zambie. Les types rampants ou semi-grimpants indéterminés, courants dans la plupart des régions de culture du haricot, prédominent dans des conditions de croissance marginales du fait de températures élevées, d'un manque d'eau ou d'une fertilité du sol faible.
Les cultivars à grosses graines rouges mar-

brées sont très courants en Afrique tropicale, suivis par les cultivars à graines de couleur rouge et de taille petite à moyenne. Les autres types de graines pourraient représenter 50% de la production. Les cultivars à graines noires ou blanches, quant à eux, ne sont pas appréciés en raison de la couleur qu'ils donnent aux plats.

Croissance et développement Pour permettre la germination du haricot, la température du sol doit être supérieure à 12°C, la levée optimale se situant à des températures du sol de 22–30°C. Les ports des plantes se regroupent grosso-modo en types déterminés ou indéterminés et en types nains ou à rames. Chez le haricot, la floraison débute généralement 28–45 jours après le semis. L'autofécondation est la règle, mais il y a 1–3% d'allofécondation. Les haricots verts peuvent se récolter 25–30 jours après la floraison. Le remplissage des graines peut prendre 23–50 jours. La durée du cycle cultural varie de 60–90 jours pour les types déterminés, et peut atteindre 250–300 jours pour les types indéterminés grimpants.

Plusieurs espèces de *Rhizobium* fixent l'azote avec *Phaseolus vulgaris*, dont *Rhizobium leguminosarum* bv. *phaseoli*, *Rhizobium etli* et *Rhizobium tropici*. On considère souvent que le pouvoir de fixation de l'azote du haricot est moins bon que celui d'autres légumes secs comme le niébé, le soja et l'arachide, mais on a quand même noté des taux de fixation atteignant 125 kg d'azote par ha.

Ecologie En Afrique tropicale, le haricot est bien adapté à des altitudes de 1200–2200 m, où les températures moyennes pendant la saison de croissance sont de 15–23°C. Il n'empêche que 20% de la production de haricot en Afrique tropicale se fait à une température moyenne supérieure à 23°C. La plante supporte de temps en temps des températures journalières de 35°C, mais cela aboutit souvent à l'avortement des fleurs. La croissance s'arrête en dessous de 10°C et le gel tue la plante. A des latitudes supérieures à 10°, *Phaseolus vulgaris* peut se cultiver à basse altitude au cours des mois les plus frais, en général sous irrigation et d'habitude pour une récolte de haricots verts. On trouve des productions de haricot là où la pluviométrie moyenne au cours de la saison de croissance est de 250 mm ; toutefois on estime que 65% de la production a lieu dans les régions où la moyenne pluviométrique est supérieure à 400 mm en saison. Des déficits en eau temporaires réduisent sérieusement les rendements. Mais plus graves encore que le manque d'eau sont les maladies favorisées par un temps humide. Les génotypes du haricot commun diffèrent en matière de sensibilité à la photopériode (plantes de jours courts ou indifférentes) ; cette sensibilité est d'ordinaire plus grande chez les génotypes d'origine andine que chez les méso-américains.

Les sols à texture moyenne et bien drainés de plus de 0,5 m de profondeur ont la préférence du haricot, qui est sensible à l'acidité du sol, y compris les toxicités à l'aluminium et au manganèse qui lui sont associées. Le pH optimal est de 6,0–7,5, mais en Afrique tropicale la majeure partie de la production se fait sur des sols dont le pH est de 5–6, et pour 20% elle a lieu sur des sols à pH inférieur à 5. En Afrique tropicale, la production de haricot se fait surtout dans des conditions de carence en phosphore. Là où des espèces de *Phaseolus* n'ont pas été cultivées auparavant, la fixation d'azote par symbiose peut ne pas suffire à satisfaire les besoins de la plante en azote.

Multiplication et plantation Le haricot se multiplie habituellement par graines, mais la multiplication végétative par boutures est possible. Le poids de 1000 graines est de 150–600 g. Le haricot peut se semer à la volée et en lignes. En culture pure, les densités de semis sont de 150 000–400 000 graines à l'ha. En culture associée, elles sont moins élevées. Le haricot à port grimpant indéterminé se sème à raison de 3–6 graines par trou de plantation sur des lignes espacées de 100–120 cm, en ménageant des espaces sur la ligne de 40–50 cm. On enfouit généralement les graines à 3–4 cm de profondeur, mais on peut aller jusqu'à 7 cm si la surface du sol est sèche et pas trop lourde ni trop sujette à l'encroûtement. Il est courant d'employer des mélanges de plusieurs types de semences, comme au Rwanda, en Tanzanie et au Malawi. Dans l'agriculture traditionnelle, la terre se prépare à la main ou à l'aide d'animaux de labour avant le semis. La culture se pratique surtout en terrain plat, mais cela n'exclut pas le recours à des buttes ou des billons lorsque le sol est lourd ou la nappe phréatique élevée.

30% seulement de la superficie de production de haricot en Afrique tropicale est cultivé en culture pure. Les associations avec le maïs, le bananier et les plantes à racines ou à tubercules sont fréquentes, représentant respectivement 40–50%, 10–20% et 10–20% de la superficie cultivée en haricot commun. Moins fréquentes sont les associations avec le sorgho, le mil, les pois, les fèves, le caféier et d'autres espèces. Les cultivars grimpants sont plus souvent pro-

duits en culture pure que les types non grimpants, mais la densité de leur feuillage crée un environnement humide, qui favorise les maladies. Le haricot est parfois cultivé comme culture de relais, profitant de l'humidité résiduelle, par ex. au Malawi et dans le sud de la Tanzanie.

Gestion Pour les cultivars grimpants, des rames de 2 m (en général des branches droites ou des tiges de bambou, ou encore de *Pennisetum*) sont placées après la levée pour soutenir les plantes. On ne désherbe qu'une ou deux fois, et après cela le couvert végétal est suffisamment développé pour étouffer les adventices. Le buttage s'effectue souvent environ 3 semaines après le semis. Cette tâche demande du soin car le collet du haricot est facilement endommagé. L'irrigation n'est pas souvent pratiquée, sauf à des latitudes élevées, où la production a lieu en hiver (la saison sèche). On a rarement recours à des engrais en Afrique tropicale, même si les carences en N et en P constituent des contraintes importantes. Des apports adéquats en P sont décisifs pour la fixation symbiotique de l'azote et il y a souvent une réaction économique à 20 kg de N et 22 kg de P par ha. Bien que dans l'ensemble le haricot soit produit sur des sols acides, le recours à une correction avec de la chaux n'est pas courant. La rotation avec d'autres espèces annuelles ou vivaces à vie courte est pratiquée ; le plus souvent avec des céréales, d'autres légumes secs ou des plantes à racines ou à tubercules.

Maladies et ravageurs Le haricot commun est extrêmement sensible aux maladies et aux ravageurs et on estime que plus de 50% de la production est perdue chaque année en Afrique tropicale. Les maladies fongiques transmises par les graines, comme les taches anguleuses des feuilles (*Phaeoisariopsis griseola*) et l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), ainsi que les maladies bactériennes comme le flétrissement (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*) et la graisse à halo (*Pseudomonas savastanoi* pv. *phaseolicola*, synonyme : *Pseudomonas syringae* pv. *phaseolicola*) font partie des contraintes principales qui pèsent sur la production de haricot. Les pertes de rendements attribuées à ces maladies sont évaluées à plus de 1 million t par an en Afrique subsaharienne. La maladie des taches anguleuses et l'anthracnose sont sensibles à de nombreux fongicides, mais il est rare que les petits paysans emploient des produits chimiques pour lutter contre les maladies. Les cultivars varient dans leur réaction à ces maladies. La fonte des semis en pré- et post-levée, provoquée par des complexes de pourriture des racines (*Pythium aphanidermatum*, *Rhizoctonia solani* (groupe AG4) et *Fusarium solani* f.sp. *phaseoli*), a un gros impact dans les régions où la production du haricot est intensive et la fertilité du sol peu élevée. Améliorer l'apport en nutriments et utiliser des cultivars résistants ou tolérants sont des méthodes efficaces pour réduire les pertes dues à cette pourriture des racines. D'après les estimations, le virus de la mosaïque commune du haricot (BCMV), transmis par les pucerons et les graines, serait responsable de 180 000 t de pertes de rendement par an en Afrique subsaharienne. La résistance au BCMV est le fait d'un gène dominant unique, mais c'est ce même gène qui est la cause d'une sensibilité au virus de la mosaïque nécrotique commune du haricot (BCMNV, également connu sous le nom de "racine noire"), indigène à l'Afrique. Ces virus étroitement apparentés possèdent chacun plus d'un groupe de pathogénicité. La résistance à la totalité des groupes peut être obtenue en déployant au moins 2 gènes récessifs. N'utiliser que des semences exemptes de maladies peut être utile pour lutter contre les maladies transmises par les graines, mais de telles semences sont rares. La rouille commune du haricot (*Uromyces appendiculatus*), l'ascochytose (*Phoma exigua*), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*) et le rhizoctone (*Rhizoctonia solani* groupe AG1) peuvent entraîner conjointement des pertes de rendement de 600 000 t/an en Afrique subsaharienne.

Les insectes ravageurs les plus importants sont les mouches mineuses du haricot (*Ophiomyia* spp.), surtout aux stades de croissance initiaux et lorsque les plantes subissent un stress du fait de carences en eau et en nutriments. On peut lutter contre les mouches du haricot en traitant les semences avec un insecticide systémique, tel que l'imidaclopride ou l'endosulphan, soit en traitement des semences elles-mêmes, soit en pulvérisation peu après la levée. En Afrique, les vers gris (*Agrotis* spp.) et les chenilles (*Spodoptera* spp.) peuvent poser problème, en particulier sur les sols corrigés au fumier de ferme, pratique répandue chez les petits paysans. Les thrips (*Frankliniella occidentalis*, *Frankliniella schultzei* et *Megalurothrips sjostedti*) sont à l'origine de 80 000–90 000 t de pertes de rendement par an et les insectes foreurs des gousses (*Helicoverpa armigera*, *Maruca testulalis* et *Clavigralla* spp.) de 130 000–140 000 t en Afrique subsaharienne. Il est difficile de lutter contre les thrips, en parti-

culier *Frankliniella occidentalis*, car ils sont résistants à de nombreux pesticides couramment utilisés. On peut facilement venir à bout des foreurs de gousses à l'aide de produits à base de *Bacillus thuringiensis*. Les pucerons (*Aphis fabae* et *Aphis craccivora*) figurent parmi les 10 principales contraintes de la production de haricot et c'est pire lorsqu'il fait sec. La chrysomèle *Ootheca* provoque des dégâts un peu partout en Afrique subsaharienne. L'aleurode (*Bemisia tabaci*), un charançon cigarier malgache (*Apoderus humeralis*) et la belle-dame (*Vanessa cardui*, synonyme : *Pyrameis cardui*) n'ont d'importance que localement. Les bruches (*Zabrotes subfasciatus* et *Acanthoscelides obtectus*) sont les ravageurs principaux du haricot stocké ; elles viendraient en sixième place parmi les causes principales de pertes de rendement (250 000 t/an) en Afrique subsaharienne. La lutte contre les ravageurs, comme toujours, fait intervenir la mise en œuvre conjointe de plusieurs pratiques à faible coût, dont la rotation des cultures, les cultures associées, le semis de cultivars résistants ou tolérants, et le recours aux insecticides.

Récolte Le haricot peut se récolter lorsque la plupart des gousses sont encore vertes mais proches de leur maturité physiologique, afin d'avoir une récolte précoce d'un légume sec frais et facile à cuire ; toutefois, la plupart des cultures se récoltent à maturité. En Afrique tropicale, la récolte s'effectue presque entièrement à la main. Les plantes des haricots non grimpants s'arrachent d'habitude lorsque la plupart des gousses sont sèches, puis on les met en bottes et on les rentre. Les gousses des types grimpants se récoltent généralement à la main au fur et à mesure qu'elles mûrissent, et la récolte s'échelonne ainsi sur plusieurs semaines.

Rendements Le rendement moyen du haricot est d'environ 1,5 t/ha en Europe et dans les pays industrialisés d'Asie, de 1 t/ha en Amérique du Nord et de 0,7 t/ha au niveau mondial. En Afrique tropicale, cette moyenne tourne en général autour de 0,6 t/ha. Lorsque les meilleures conditions possibles sont réunies, on peut atteindre des rendements de 2,5 t/ha pour les types non grimpants et de 5 t/ha pour les types grimpants. Sous irrigation, au Malawi par exemple, des rendements de 3,8 t/ha ont été obtenus.

Traitement après récolte Les petits paysans rapportent les haricots récoltés chez eux pour les étaler au sol et les faire sécher au soleil. Après séchage, le battage s'effectue soit avec de longs bâtons, soit avec un tracteur que l'on fait passer sur la récolte mise en tas, ou plus rarement, avec une batteuse mécanique. Avant d'être stockées, les graines de haricot sont souvent séchées au soleil afin de détruire les bruches et de diminuer le taux d'humidité, ce qui permet une meilleure conservation. Mais un séchage prolongé peut entraîner une difficulté de cuisson. Dans certaines régions, les graines sont triées par type, tandis qu'ailleurs, ce sont des mélanges complexes qui sont intentionnellement produits et consommés. La conservation des graines se fait avec de la cendre de bois, des feuilles de tabac ou de la cendre de tiges de haricot.

Ressources génétiques Le haricot est menacé d'érosion génétique en raison de pratiques agricoles non traditionnelles où un nombre relativement restreint de génotypes sont produits en peuplements purs, et, surtout en Amérique Latine, à cause du remplacement de cette culture par d'autres plus rentables. Une conservation in situ peut être intéressante, surtout pour des pays comme le Rwanda où l'on trouve de nombreuses variétés traditionnelles cultivées dans des conditions diverses, souvent en mélanges complexes qui regroupent jusqu'à 20 types de graines différentes.
La plus vaste collection ex situ de *Phaseolus* se trouve au Centre international d'agriculture tropicale (CIAT) près de Cali (Colombie). Elle contient plus de 40 000 entrées, sur lesquelles 35 000 sont des *Phaseolus vulgaris*. D'après les estimations, cette collection représenterait 50–75% de la variabilité présente dans les centres de diversification pour les types domestiqués, mais seulement moins de 30% de la diversité des types sauvages. Parmi les collections de ressources génétiques détenues en Afrique, citons : Bunda Agricultural College de Lilongwe, au Malawi (6000 entrées), National Genebank of Kenya, KARI, de Kikuyu (3000 entrées) et l'Institut des sciences agronomiques du Rwanda, à Butare (3000 entrées). Les programmes d'amélioration génétique nationaux en Afrique (comme celui d'Ouganda) possèdent des collections de variétés locales plus petites.

Sélection En Afrique et dans les autres pays du monde, les programmes d'amélioration génétique du haricot ont pour but d'améliorer le potentiel de rendement ; une bonne partie des progrès réalisés porte sur l'amélioration de la tolérance ou de la résistance aux contraintes biotiques et abiotiques. Améliorer la résistance aux maladies est l'objectif principal des sélectionneurs, et des réussites importantes ont été

obtenues ; cependant, il est fréquent que la résistance ne soit pas durable en raison de la diversité génétique des agents pathogènes et de leur aptitude à s'adapter. La résistance au flétrissement bactérien commun a été introduite à partir de *Phaseolus coccineus* et de *Phaseolus acutifolius*. Une meilleure résistance aux insectes est un autre objectif d'amélioration important. Les espèces sauvages de *Phaseolus* ont été une source utile de gènes, comme pour la résistance à la bruche *Zabrotes subfasciatus*. Les sélections visant à obtenir une tolérance aux stress abiotiques ont gagné en importance et, en Afrique, des lignées dotées d'une tolérance supérieure aux sols acides, ainsi que d'autres capables d'utiliser efficacement N ou P, ont été mises sur le marché. Les progrès en matière de tolérance à la sécheresse sont prometteurs : à la profondeur des systèmes racinaires a été associée une efficacité dans l'acheminement des glucides depuis les feuilles jusqu'aux graines lorsque la plante subit un stress dû à la sécheresse. La descendance produite à partir de croisements entre les pools géniques andin et méso-américain est habituellement faible et peu productive, mais les sélectionneurs ont mis au point des lignées et des géniteurs supérieurs au moyen de croisements inter-pools qui combinent les caractères supérieurs de chacun des pools.

En Afrique, des programmes d'amélioration limités en ressources ont profité d'une collaboration tant au niveau régional qu'international, par exemple du matériel génétique élaboré au CIAT.

L'amélioration génétique du haricot gagne en efficacité grâce au recours de plus en plus fréquent aux marqueurs moléculaires. L'initiative "Phaseomics" facilite la collaboration entre instituts de recherche pour mettre sur pied une bibliothèque d'ADNc et séquencer le génome du haricot. La régénération in vitro du haricot à des fins d'amélioration génétique est possible à l'aide de différents explants : méristèmes apicaux, pétioles, plantules, axes d'embryon, cotylédons, nœuds de plantules et cals méristématiques. On n'a jamais confirmé l'existence de plantes de haricot transgéniques stables à partir de systèmes d'*Agrobacterium tumefaciens*, mais des plantes transgéniques ont été obtenues par bombardement de particules. Toutefois, la manière la plus efficace d'améliorer le haricot par transgenèse est sans doute d'utiliser *Phaseolus acutifolius*, que l'on peut transformer en routine à l'aide d'*Agrobacterium*, puis de croiser les plantes transgéniques ainsi obtenues avec le haricot commun à l'aide de la technique de sauvetage d'embryons.

Perspectives Le haricot commun est le légume sec le plus consommé au monde ; en Afrique tropicale, c'est une espèce cultivée importante, en particulier en Afrique centrale, orientale et australe, aussi bien pour sa valeur nutritionnelle que pour son potentiel commercial. Il a surtout de l'importance pour les petits paysans et les femmes, qui sont souvent responsables de sa culture. Le commerce régional pèse un certain poids économique dans quelques pays, et il existe aussi en Afrique tropicale une production de haricot destinée à l'export vers l'Europe et le Proche-Orient. Il n'y a pas de raison de croire qu'à l'avenir l'importance du haricot va diminuer ; en Afrique tropicale, il est même probable que la demande augmentera en même temps que la population. La production de haricot en Afrique tropicale est limitée par sa sensibilité aux maladies et aux ravageurs. En dépit des progrès considérables réalisés dans l'amélioration génétique en vue de la résistance ou de la tolérance aux maladies et aux ravageurs, des travaux restent à accomplir, car la résistance n'est souvent pas durable. Une sélection pour une meilleure tolérance à des stress abiotiques tels que la toxicité de l'aluminium, et pour une utilisation plus efficace par la plante de l'eau et des nutriments du sol, est également nécessaire afin d'accroître la production tant sur les sols marginaux que sur les sols productifs. Les outils biotechnologiques vont jouer un rôle de plus en plus grand dans la sélection du haricot, par ex. le recours à la cartographie moléculaire pour localiser les gènes de résistance.

Références principales Abate & Ampofo, 1996; Allen, Buruchara & Smithson, 1998; Baudoin et al., 2001; Gepts & Debouck, 1991; Hidalgo, 1991; Messiaen & Seif, 2004; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Shellie-Dessert & Bliss, 1991; Smartt, 1989b; Wortmann et al., 1998.

Autres références Beninger & Hosfield, 2003; Chacon S., Pickersgill & Debouck, 2005; Debouck & Smartt, 1995; Freytag & Debouck, 2002; Fukushima et al., 2001; Giller, 2001; Gillett et al., 1971; Graham & Ranalli, 1997; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Hidalgo & Beebe, 1997; Holland, Unwin & Buss, 1991; Johnson, Pachico & Wortmann, 2003; Kay, 1979; Mackinder et al., 2001; Martínez Romero, 2003; Paul, Southgate & Russell, 1980; Qi, Smithson & Summerfield, 1998; Roman-

Ramos, Flores-Saenz & Alarcon-Aguilar, 1995; Wang & Ng, 2000; Westphal, 1974.

Sources de l'illustration Smartt, 1989b.

Auteurs C.S. Wortmann

PISUM SATIVUM L.

Protologue Sp. pl. 2: 727 (1753).

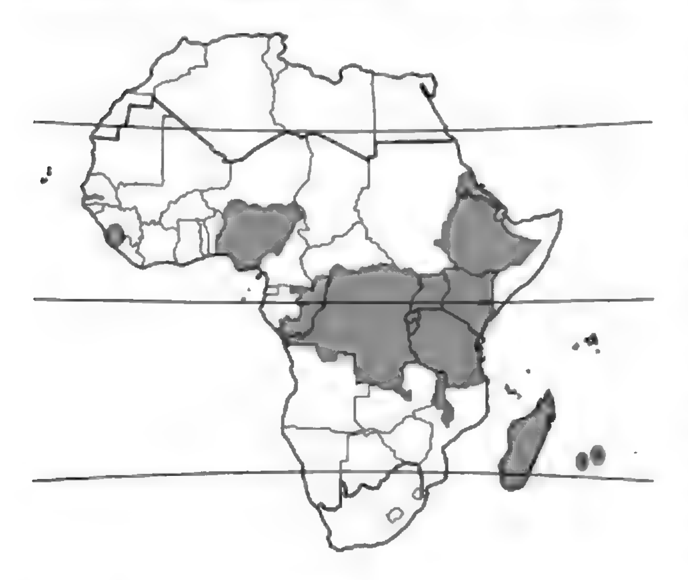
Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 14$

Noms vernaculaires

- Pois, pois sec (Fr). Field pea, pea (En). Ervilha (Po). Njengere, njegere (Sw).
- Petit pois (Fr). Garden pea, pea, petit-pois (En). Ervilha (Po). Njengere, njegere (Sw).
- Pois mangetout, pois gourmand (Fr). Sugar pea, pea pod, snap pea, snow pea, mangetout (En). Ervilha torta (Po).

Origine et répartition géographique L'origine et les ancêtres de *Pisum sativum* sont mal connus. La région méditerranéenne, l'Asie centrale et occidentale et l'Ethiopie ont été envisagés comme centres d'origine. Récemment, la FAO a désigné l'Ethiopie et l'Asie occidentale comme centres de diversité, avec des centres secondaires dans le sud de l'Asie et la région méditerranéenne. L'utilisation du pois dans le Croissant fertile est attestée par des données archéologiques datant de 8000 av. J.-C. Le pois semble avoir été d'abord cultivé en Asie, d'où il s'est diffusé en Europe, en Chine et en Inde. Dans l'antiquité, les auteurs grecs et romains ont fait état de sa culture comme légume sec et plante fourragère. Le pois était déjà bien connu dans les régions montagneuses de l'Afrique centrale et orientale avant l'arrivée des Européens et, vers 1860, c'était une culture vivrière importante et bien établie au Rwanda et dans le sud-ouest de l'Ouganda. La consommation des gousses fut décrite pour la première fois aux Pays-Bas et en France au XVIe siècle, et l'emploi des graines immatures comme légume débuta en Europe un siècle plus tard.



Pisum sativum – planté

Actuellement, on trouve *Pisum sativum* dans tous les pays tempérés et dans la plupart des hautes terres tropicales. Le pois sec est cultivé sur de vastes territoires dans les hautes terres de l'Afrique centrale (partie est) et orientale (en Ethiopie en particulier) ainsi qu'en Afrique australe. Dans certaines régions du Rwanda et de l'Ouganda, c'est le principal légume sec. Le pois sec n'est pratiquement pas cultivé en Afrique de l'Ouest. En Afrique, le petit pois et le pois mangetout sont surtout considérés comme des produits exotiques. Ils ont une importance au niveau régional, le pois mangetout davantage dans les pays francophones et le petit pois surtout dans les pays anglophones. On peut se procurer des petits pois en conserve importés dans toutes les épiceries.

Usages On distingue trois principaux types de cultivars de pois : le pois sec, cultivé pour ses graines sèches ; le petit pois, cultivé pour ses graines vertes immatures ; et le pois mangetout, cultivé pour ses gousses immatures. Les pois secs sont d'abord mis à tremper dans l'eau pour les attendrir, puis on les fait cuire à l'eau et on les consomme comme légume sec. Une autre possibilité consiste à les décortiquer et à en séparer les cotylédons (pois cassés) avant de les faire cuire à l'eau. On les mange aussi grillés. On ne fait cuire les jeunes gousses de pois mangetouts que quelques minutes à l'eau pour préserver leur croquant ; on peut ensuite les faire sauter avant de les consommer. Les petits pois sont également cuits à l'eau quelques minutes. Ils sont couramment disponibles en appertisé ou – dans les pays occidentaux – en surgelé. En Ethiopie, la consommation de pois est estimée à 6–7 kg par personne et par an. Parmi les principaux plats, on citera le "shiro wot" (pois cassés, moulus et mijotés en ragoût) et le "kik wot" (pois cassés, cuits à l'eau et mijotés en ragoût). En amuse-gueule, on trouve l'"eshet" (pois verts frais, consommés crus ou grillés), le "nifro" (pois verts, secs ou frais, cuits à l'eau) et l'"endushdush" (pois trempés avant d'être grillés). Sur les marchés locaux, on préfère des pois de couleur blanche ou crème pour faire le "kik" et des pois de couleur grise pour faire le "shiro". Au Malawi et dans certains pays asiatiques, on emploie

les jeunes pousses comme légume-feuilles. Dans les pays occidentaux, les graines mûres de pois sont partout utilisés dans l'alimentation animale. Les fanes (ou paille) après battage sont utilisées comme fourrage, foin, ensilage ou engrais vert. Si le pois est une importante source d'aliments pour l'homme comme pour les animaux, c'est aussi une plante intéressante dans une rotation, car il fixe l'azote atmosphérique et joue ainsi un rôle dans le rétablissement de la fertilité du sol.

Les graines de pois auraient des effets bénéfiques sur toutes sortes de maladies de la peau ; des masques faciaux, préparés à partir des graines broyées, sont utilisés pour traiter l'acné et la peau ridée.

Production et commerce international La FAO a estimé la production mondiale de pois secs entre 1999 et 2003 à environ 10,5 millions de t par an, produites sur 6,2 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont le Canada (2,1 millions de t sur 1,1 million d'ha), la France (1,9 million t sur 400 000 ha), la Chine (1,1 million t sur 900 000 ha) et la Fédération de Russie (1,1 million t sur 700 000 ha). La production annuelle en Afrique tropicale pour cette période était d'environ 310 000 t sur 470 000 ha. Les principaux pays producteurs y sont l'Ethiopie (135 000 t sur 184 000 ha), la R.D. du Congo (65 000 t sur 96 000 ha), le Burundi (32 000 t sur 49 000 ha), la Tanzanie (28 000 t sur 63 000 ha), l'Ouganda (18 000 t sur 29 000 ha) et le Rwanda (14 000 t sur 30 000 ha). La production mondiale de petits pois entre 1999 et 2003 avoisinait 8,7 millions de t par an sur 1,0 million ha, les principaux producteurs étant l'Inde (3,4 millions de t sur 300 000 ha), la Chine (1,5 million t sur 190 000 ha) et les Etats-Unis (1,0 million t sur 96 000 ha). En Afrique tropicale, près de 30 000 t par an de petits pois ont été produites sur 6400 ha, principalement au Kenya (23 000 t sur 5600 ha).

Les statistiques sur le commerce international de pois sont rares en général, car elles sont le plus souvent englobées dans une rubrique "légumes secs". Les principaux pays exportateurs sont le Canada, l'Australie, la France et la Chine. Le Canada, d'abord concentré sur le marché européen de l'alimentation animale, s'est tourné au cours des dernières années vers le marché de l'alimentation humaine en Inde. L'Australie se concentre sur le marché d'alimentation humaine et sur son marché intérieur en aliment du bétail. Les principaux importateurs de pois destinés à l'alimentation animale ou humaine sont l'Espagne, le Bangladesh, la Belgique, l'Inde, la Chine, les Etats-Unis, la Colombie, les Emirats arabes unis et la Malaisie. En Ethiopie, la quasi-totalité de la production est consommée sur place. La plupart des pois mangetouts produits dans le monde sont vendus sur les marchés locaux. Mais les pays occidentaux importent de grandes quantités de pois mangetouts des pays tropicaux, car la production locale n'est disponible que pendant une courte période de l'année et les coûts de la main-d'œuvre de récolte sont élevés. Le Kenya exporte chaque année 4500 t de pois mangetouts à destination de l'Union européenne. Les petits pois sont surtout exportés appertisés ou surgelés des pays occidentaux comme les Etats-Unis et la France, mais on ne dispose pas de statistiques à ce sujet.

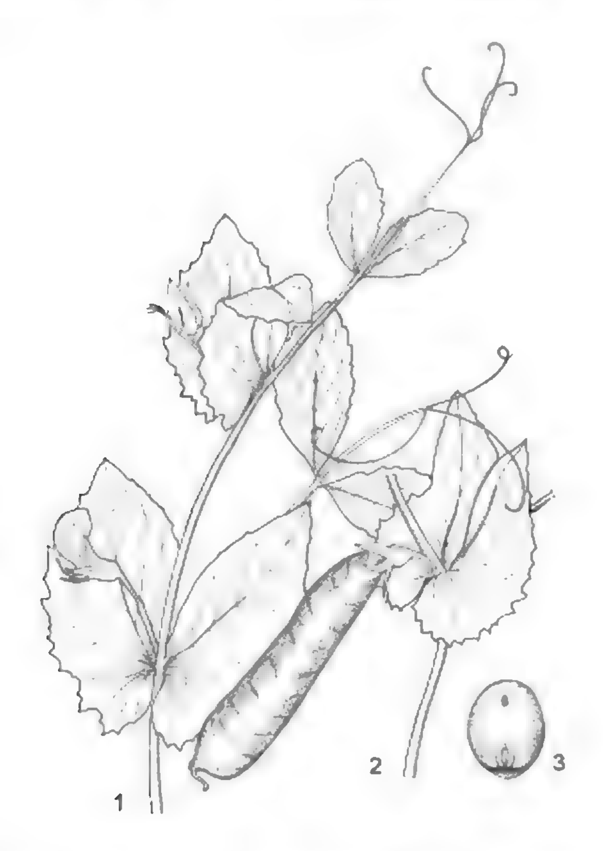
Propriétés Les graines mûres, entières et sèches de pois contiennent, par 100 g de partie comestible : eau 13,3 g, énergie 1269 kJ (303 kcal), protéines 21,6 g, lipides 2,4 g, glucides 52,0 g (amidon 47,6 g), fibres 15,0 g, Ca 61 mg, Mg 120 mg, P 300 mg, Fe 4,7 mg, Zn 3,7 mg, carotène 245 µg, thiamine 0,6 mg, riboflavine 0,3 mg, niacine 3,0 mg, vitamine B_6 0,13 mg, traces d'acide ascorbique (Holland, Unwin & Buss, 1991). La teneur en acides aminés essentiels, par 100 g d'aliment, est : tryptophane 210 mg, lysine 1620 mg, méthionine 210 mg, phénylalanine 1000 mg, thréonine 860 mg, valine 1000 mg, leucine 1480 mg et isoleucine 930 mg (Paul, Southgate & Russell, 1980). La composition des pois ridés est différente de celle des pois lisses ; ils ont moins d'amidon (27–37 g) et plus de lipides (5 g) et de sucres. Les facteurs antinutritionnels dans les pois comprennent des inhibiteurs de trypsine, des hémagglutinines (lectines), des tanins, des oligosaccharides et des phytates. Les cultivars à tégument de couleur foncée contiennent plus de tanins, ce qui diminue leur digestibilité.

Les graines de petits pois écossées (déchets 63%) contiennent à l'état cru par 100 g de partie comestible : eau 74,6 g, énergie 348 kJ (83 kcal), protéines 6,9 g, lipides 1,5 g, glucides 11,3 g (amidon 7,0 g), fibres 4,7 g, Ca 21 mg, Mg 34 mg, P 130 mg, Fe 2,8 mg, Zn 1,1 mg, carotène 300 µg, thiamine 0,75 mg, riboflavine 0,02 mg, niacine 2,5 mg, folates 62 µg, acide ascorbique 24 mg.

Les gousses de pois mangetouts crues, extrémités parées (déchets 8%), contiennent par 100 g de partie comestible : eau 88,7 g, énergie 134 kJ (32 kcal), protéines 3,6 g, lipides 0,2 g, glucides 4,2 g (amidon 0,8 g), fibres 4,2 g, Ca 44

mg, Mg 28 mg, P 62 mg, Fe 0,8 mg, Zn 0,5 mg, carotène 695 µg, thiamine 0,2 mg, riboflavine 0,15 mg, niacine 0,6 mg, folates 10 µg, acide ascorbique 54 mg (Holland, Unwin & Buss, 1991).

Description Plante herbacée annuelle, glabre, grimpante, atteignant 2(–3) m de haut (1,3 m pour les types pois mangetout) ; racine pivotante bien développée, atteignant 1,2 m de long, à nombreuses racines latérales ; tige cylindrique, non ou peu ramifiée à la base, entrenœuds creux. Feuilles alternes, pennées, à 1–3(–4) paires de folioles et terminées par une vrille généralement ramifiée ; stipules foliacées, atteignant 8(–10) cm × 4 cm ; pétiole de (2–)4–6(–7,5) cm de long ; folioles à court pétiolule, ovales à elliptiques, de 1,5–8 cm × 0,5–4 cm, entières à dentées, se transformant parfois en vrilles. Inflorescence : grappe axillaire, à 1–3 fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées ; calice pourvu d'un tube de 4–8 mm de long, lobes de longueur égale ou supérieure à celle du tube ; corolle blanche à violette, étendard de 1–3 cm × 2,5–4,5 cm, ailes un peu plus courtes que l'étendard, carène nettement plus courte ; étamines 10, 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, 1-loculaire, style courbe, cannelé longitudinalement. Fruit : gousse oblongue-ovale de 3,5–15 cm × 1–2,5 cm, pendante, contenant 2–11 graines. Graines globuleuses, parfois ridées, de 5–8 mm de diamètre, de couleur variée allant du jaune uniforme (pois mangetout) ou du vert (petit pois ridé) au violet, tacheté ou blanc crème, parfois avec un hile noir. Plantule à germination hypogée : cotylédons restant à l'intérieur du tégument ; 2 premières feuilles simples.



Pisum sativum – 1, pousse avec fleur ; 2, partie d'une pousse avec fruit ; 3, graine.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Pisum* ne comprend que quelques espèces et s'apparente aux genres *Lathyrus*, *Lens* et *Vicia*, dont il se distingue par ses tiges cylindriques, ses stipules très grandes et son style cannelé longitudinalement.

Pisum sativum a depuis longtemps été étudié par les généticiens ; Knight a fait ses essais de croisement sur le pois en 1787, et Gregor Mendel s'en est servi pour ses travaux pionniers au XIXe siècle. Au sein de *Pisum sativum*, plusieurs variétés et sous-espèces ont été distinguées. Une classification en groupes de cultivars est plus appropriée. Le Groupe Sativum est cultivé dans le monde entier, dont l'Afrique tropicale. Le Groupe Abyssinicum (pois d'Abyssinie) est cultivé dans le nord (Tigré et Wollo) et le sud-est (Arsi) de l'Ethiopie ; on le rencontre également au Yémen. Celui-ci diffère par ses feuilles à une seule paire de folioles (Groupe Sativum : 2–3 paires) et ses petites fleurs violet-rouge. Il possède des graines légèrement luisantes à hile noir, qui peuvent mûrir plus tôt. D'autres groupes de cultivars, variétés ou sous-espèces existent en dehors de l'Afrique ; deux d'entre elles représentent des populations spontanées de l'Europe méridionale et de l'Asie occidentale.

La coloration violette des fleurs est associée à l'amertume des graines immatures. Pour cette raison, presque tous les cultivars de petit pois ont des fleurs blanches, tandis que la plupart des cultivars de pois sec ont des fleurs violettes, et que les cultivars de pois mangetout ont des fleurs blanches ou violettes.

Croissance et développement Les graines de pois germent à des températures ambiantes de 4–24°C, 13–18°C étant les températures optimales. Chez les cultivars de pois mangetout, les fleurs paraissent entre le 6e et le 12e nœud, en fonction de la précocité du cultivar, habituellement 5–7 semaines après la levée. Aux températures optimales, les gousses peuvent être récoltées 12 jours plus tard. Pour le petit pois, la durée de la période de floraison est de 2–3 semaines chez les cultivars destinés à la récolte mécanique et jusqu'à un mois chez

les cultivars de jardin. Pour le pois sec, la période qui va de la levée à la récolte des graines sèches est de 3–6 mois selon le cultivar et le milieu. La majorité des cultivars de pois sec cultivés en Afrique ont une croissance indéterminée. Au cours d'un essai mené en Ethiopie à 3000 m d'altitude, sur deux saisons et avec 63 génotypes, la période jusqu'à la floraison était de 80–104 jours et la période jusqu'à la maturité de 149–163 jours. Le pois est autogame, avec généralement moins de 1% d'allofécondation. Le pois est associé symbiotiquement à *Rhizobium leguminosarum*.

Ecologie Le pois a besoin d'un climat relativement frais ; les températures moyennes doivent être comprises entre 7–24°C et, pour des rendements optimaux, entre 13–21°C, bien que les meilleures performances de croissance végétative et de développement soient atteintes à des températures beaucoup plus élevées. Il peut être cultivé au-dessus de 1000 m près de l'équateur, ou à des altitudes inférieures (même dans les régions côtières) pendant la saison fraîche, à des latitudes de 15–20°. Les jeunes plantes peuvent supporter le gel si elles ont été progressivement habituées à des températures de plus en plus basses. *Pisum sativum* est cultivé jusque dans des régions ou les précipitations ne dépassent pas 400 mm, mais la pluviométrie idéale est de 800–1000 mm/an. Il est légèrement sensible à la longueur du jour, car les jours longs favorisent la floraison. Dans la plupart des cas sous les tropiques, il peut être considéré comme indifférent à la photopériode. En Ethiopie, on cultive le pois sec comme culture pluviale à 1800–3000 m d'altitude, parce qu'il souffre de maladies et de la sécheresse à des altitudes inférieures, et du gel à des altitudes supérieures. Il se cultive surtout pendant la principale saison des pluies. En Ouganda, le pois pousse mieux à des altitudes supérieures à 1800 m, et au Kenya, les rendements optimaux sont obtenus à 2100–2700 m d'altitude. Le pois pousse sur des sols de toutes natures, dotés de niveaux de fertilité modérés, bien drainés et à pH de 5,5–7,0, bien que certains cultivars tolèrent un pH allant jusqu'à 7,5. Il est très affecté par l'acidité du sol, la toxicité de l'aluminium et l'asphyxie racinaire.

Multiplication et plantation Le pois est reproduit par graines. Le poids de 1000 graines va de 100 g à 500 g. Le pois mangetout se sème en lignes doubles écartées de 10 cm, en laissant 60 cm (30–80 cm) entre chaque double ligne. Les graines des cultivars nains sont semées tous les 3–5 cm sur la ligne et celles des cultivars de grande taille jusqu'à 10 cm. Pour le petit pois, on sème relativement dru, la densité atteignant 80 plantes au m². Il faut enfouir la graine à 4–7 cm de profondeur. Le besoin en graines est de 60–200 kg/ha, le petit pois réclamant les quantités les plus élevées. En Afrique, le pois sec se sème surtout à la volée. Même s'il n'a pas besoin d'être semé dans un fin lit de semis, 2–3 labours à la charrue à traction animale ou un labour à disques suivi de deux hersages à disques pourront être bénéfiques. Le choix de la date de semis est essentiel pour obtenir des rendements optimaux, parce que les cultures semées tard sont souvent affectées par le manque d'eau, par les invasions de pucerons à moyenne altitude et par les gelées à haute altitude. En Ethiopie, le pois sec est cultivé seul ou en association avec d'autres espèces comme la fève (*Vicia faba* L.). Dans le deuxième cas, la fève procure un support physique au pois sec et lui donne une bonne aération ; le pois sec quant à lui empêche la croissance des adventices. En Ethiopie, la culture associée de pois sec et de fève freine de façon significative la progression de l'ascochytose et donne des rendements plus élevés que la culture pure. Dans la région du Kilimanjaro en Tanzanie, le pois est cultivé pendant la saison fraîche en association avec des cultures comme le caféier, le bananier, la tomate et le maïs. On retrouve la même pratique en certains endroits du district Kigezi en Ouganda. Au Malawi (district de Ntheu), il est aussi cultivé en saison fraîche, le plus souvent dans les jardins, mélangé à d'autres cultures comme le blé. Sous les tropiques, par ex. au Rwanda et au sud-ouest de l'Ouganda, le pois sec est souvent la première culture après une période de jachère. Dans les régions tempérées, on sème le pois mangetout en automne ou au début du printemps.

Gestion Le pois mangetout est normalement tuteuré. Les tiges ne sont pas volubiles, mais elles s'agrippent aux tuteurs par leurs vrilles. Elles n'ont pas besoin de rames verticales, mais on peut croiser les rames, ou soutenir les plantes avec du grillage, des fils de fer horizontaux, des croisillons verticaux ou des filets, selon la hauteur potentielle du cultivar utilisé. On tuteure rarement le petit pois, et jamais le pois sec. Il faut rigoureusement maîtriser les adventices. La période critique de concurrence des adventices se situe 3–8 semaines après la levée. Ce sont autant des graminées annuelles que vivaces qui affectent le pois sec. Le désherbage peut se faire à la main là où la main-

d'œuvre est bon marché, mais le désherbage chimique est plus pratique en production à grande échelle. En préparant la terre en avance, on peut favoriser la germination des graines d'adventices, celles-ci étant détruites par le travail du sol suivant.

Le pois sec n'a généralement pas besoin d'engrais azoté, car la quantité présente dans le sol et fixée par la plante est suffisante. L'absorption minérale pour une culture donnant un rendement de 5–6 t/ha de graines est de 30–35 kg/ha de P et 200–250 kg/ha de K. Les jeunes plantes de pois mangetout et de petit pois réagissent bien à une fumure de démarrage d'azote, même lorsqu'il y a formation de nodosités. A titre indicatif, la recommandation en engrais pour des sols légers alcalins moyennement riches est de 40 kg de N, 50 kg de P, 150 kg de K et 30 kg de Mg à l'ha. L'irrigation est nécessaire en conditions sèches, par ex. 10 mm deux fois par semaine.

Maladies et ravageurs L'ascochytose est un complexe pathologique causé par *Ascochyta pisi*, *Mycosphaerella pinodes* (*Ascochyta pinodes*) et *Phoma medicaginis* (*Ascochyta pinodella*) ; elle est répandue dans le monde entier. Elle est favorisée par des pluies fréquentes et une humidité élevée. Des niveaux de résistance modérés ont été détectés dans les variétés locales et chez l'espèce apparentée *Pisum fulvum* Sibth. & Sm., présente à l'état sauvage en Asie occidentale. L'oïdium provoqué par *Erysiphe pisi* est répandu et important partout où le pois est cultivé. Des cultivars résistants ont été mis au point. Chez le pois mangetout, un gène de résistance récessif est présent chez le cultivar 'Manoa Sugar', sélectionné à Hawaii. La graisse bactérienne (*Pseudomonas syringae* pv. *pisi*) est commune sur les cultures intensives de pois et lorsque l'humidité est élevée. Le mildiou (*Peronospora viciae*) peut se développer à hautes altitudes où les températures sont comprises entre 1°C et 18°C. Comme l'ascochytose, l'oïdium, le flétrissement bactérien et le mildiou sont transmis par la semence, il est capital d'utiliser des semences certifiées exemptes de maladies. Si l'on est amené à utiliser ses propres semences, il faudra les traiter avec un fongicide systémique pour lutter contre l'ascochytose et l'oïdium. En outre, le recours à un large espacement des lignes, à l'éradication des adventices, à un arrosage de surface et à des rotations sur trois ans ou plus permet de gérer le flétrissement bactérien et les autres maladies. *Aphanomyces euteiches* (nécrose des racines) est un agent pathogène important du pois dans le monde entier. Il est très difficile de le maîtriser, car il n'existe aucun fongicide efficace disponible. Le développement d'une résistance/tolérance sera nécessaire pour lutter efficacement contre cette maladie. Une autre maladie importante, transmise par le sol, est la fusariose due à *Fusarium oxysporum* f.sp. *pisi*, mais des cultivars résistants sont disponibles. Parmi les maladies virales transmises par les pucerons figurent le virus de la mosaïque jaune du haricot (BYMV), le virus de la mosaïque du pois transmis par graines (PSbMV), la jaunisse apicale du pois (BLRV - luteovirus de l'enroulement des feuilles du haricot) et le virus de la mosaïque énation du pois (PEMV). Des cultivars de pois mangetout récents, sélectionnés dans le sud de la France, sont relativement tolérants aux infestations graves par ces virus (par ex. 'Supermangetout', comparé au traditionnel 'Carouby de Maussane').

Les insectes ravageurs qui s'attaquent au pois comprennent les noctuelles (*Agrotis* spp., *Heliothis armigera* et *Spodoptera exigua*), les pucerons (dont le puceron vert du pois *Acyrthosiphon pisum*, vecteur de nombreuses maladies virales et devenu un fléau majeur en Ethiopie) et la bruche du pois (*Bruchus pisorum*). D'autres bruches (*Callosobruchus* spp.) sont des ravageurs de stockage très importants du pois sec, par ex. en Ethiopie.

L'adventice parasite *Orobanche crenata* Forssk. provoque des dégâts chez le pois dans la région méditerranéenne.

Pour lutter contre ces maladies et ravageurs, on préconise la lutte raisonnée : emploi de cultivars résistants/tolérants ; utilisation de semences certifiées exemptes de maladies ou traitement de ses propres semences ; champ exempt de mauvaises herbes ; engrais et arrosages adéquats ; cultures du pois pour la semence pratiquées dans des zones semi-arides ou arides ; surveillance régulière de la culture ; et recours judicieux aux biocides.

Récolte Le pois mangetout et les petits pois peuvent être récoltés 8–12 semaines après le semis et le pois sec un mois plus tard. Les gousses de mangetout se ramassent à la main tous les deux jours pendant 15–20 jours. Les petits pois se récoltent soit à la main soit – s'il s'agit d'une production à grande échelle destinée aux conserveries – à la machine. Une récolte trop tardive de pois secs peut entraîner la chute et le pourrissement des gousses et l'égrenage. Il faut donc récolter au bon moment : lorsque les feuilles se mettent à jaunir, les gousses du bas se rident et la teneur en eau

des graines se réduit à 16–18%. Dans la plupart des régions d'Afrique où le moment de la récolte coïncide plus ou moins avec le début de la saison sèche, il est facile d'obtenir des teneurs faibles en eau tant que la culture est encore au champ. La plupart des cultivars de pois sec ont une croissance indéterminée et les gousses ne mûrissent pas toutes en même temps. Il faut par conséquent faire sécher les plantes récoltées avant de les battre. Dans la plupart des régions d'Afrique (par ex. en Ethiopie), la récolte des pois secs se fait à la faucille, puis le produit est emporté sur l'aire de battage et empilé pour sécher quelques jours au soleil. On étale ensuite ce tas sur l'aire et le battage est effectué généralement avec des bâtons ou par foulage par les animaux domestiques.

Rendements Les rendements en pois sec vont de moins de 1 t/ha en Afrique et en Amérique du Sud à plus de 4 t/ha en Europe. La moyenne mondiale avoisine 1,7 t/ha. Dans de bonnes conditions de culture, on peut obtenir des rendements en gousses comestibles de pois mangetout de 8 t/ha. Le petit pois peut produire 4–7 t/ha de grains frais.

Traitement après récolte La teneur initiale en eau de la graine de pois sec doit être abaissée au niveau requis, soit environ 12%, avant le stockage. Une teneur optimale en eau diminue les risques de détérioration au cours du stockage et prévient ou réduit les attaques causées par les moisissures et les insectes. Les pois secs doivent être conservés dans un lieu sec et frais, exempt de ravageurs et à l'abri d'une éventuelle absorption d'humidité provenant de l'extérieur. En Afrique tropicale, par ex. en Ethiopie, les pois ne sont pas stockés plus d'une saison en raison des dégâts d'insectes, notamment les bruches. Habituellement, les petits paysans n'ont pas recours aux insecticides. Des boîtes en terre (enduites de bouse) ou en bois (scellées à la boue) sont les structures de stockage les plus couramment utilisées en Afrique tropicale. Les pois mangetouts se conservent seulement 2–3 jours à des températures de 20–25°C, mais plus de 15 jours à 2,5–5°C dans des sacs plastiques perforés ou des cagettes recouvertes de film plastique perforé. Les petits pois quant à eux se conservent 1–3 semaines à des températures de 0–4°C et une humidité relative de 88–92%.

Ressources génétiques Une grande diversité génétique a été observée dans les collections de *Pisum sativum* d'Afrique (par ex. en Ethiopie) et d'Asie (par ex. en Inde). L'érosion génétique chez le pois sec est probablement moindre que chez les céréales, parce qu'on a fait moins de progrès dans la création de cultivars, et que les variétés locales ont donc été moins remplacées par un nombre réduit de nouveaux cultivars. De nombreuses collections de ressources génétiques de pois sont détenues dans le monde entier. La collection mondiale de cultivars et de mutants de *Pisum sativum* se trouve au Nordic Gene Bank d'Alnarp en Suède (environ 2700 entrées). Dans cette collection, on a mis l'accent sur des lignées multirésistantes aux maladies, sur des types sauvages et primitifs, des lignées porteuses de mutations structurelles, du matériel de sélection et des cultivars présentant un intérêt particulier. D'importantes collections de *Pisum sativum* sont détenues en Australie (Australian Temperate Field Crops Collection, à Horsham, Victoria, 6300 entrées), en Russie (Institut Vavilov, à St. Petersbourg, 6200 entrées), en Italie (CNR - Istituto di Genetica Vegetale, à Bari, 4100 entrées), aux Etats-Unis (Western Regional Plant Introduction Station, à Pullman, 3500 entrées ; à l'Horticultural Sciences Department, au NY State Agricultural Experiment Station, Geneva, 2500 entrées), en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS) à Pékin, 3400 entrées), et au Royaume-Uni (John Innes Centre, Department of Applied Genetics de Norwich, 2700 entrées). La plus vaste collection de ressources génétiques de *Pisum sativum* en Afrique est située à l'Institute of Biodiversity Conservation, à Addis Abéba (Ethiopie), avec plus de 1600 entrées.

Sélection Tous les cultivars commerciaux de *Pisum sativum* sont des lignées pures. Les principaux objectifs de sélection en régions tempérées sont la couleur et la qualité pour le marché du frais et l'industrie, la mécanisation et la tolérance au froid. Dans la plupart des régions tropicales, la priorité de la sélection porte sur l'amélioration des rendements en graines, grâce à la mise au point de cultivars productifs, tolérants/résistants à diverses contraintes et adaptés à diverses conditions agroécologiques. Quelques progrès ont été accomplis. Outre l'amélioration des potentiels de rendements, des sources de résistance à l'oïdium ont été identifiées. Les tentatives pour transférer la résistance à l'ascochytose d'un type sauvage ont échoué en raison de complications dues à une hérédité polygénique et à une liaison génétique avec d'autres caractères. La présence de races physiologiques des pathogènes constitue un autre problème. La manipula-

tion des caractéristiques morphologiques a débouché sur l'obtention de types déterminés à maturité uniforme adaptés à la mécanisation, ainsi que des types semi-aphylles moins sensibles à la verse. Un caractère mutant singulier, 'Afila', qui donne des vrilles à la place des folioles, a été introduit parmi les cultivars commerciaux nains de pois sec. Les travaux de sélection en Afrique au cours des trois dernières décennies ont abouti à la commercialisation de nombreux cultivars (obtenus par introduction, hybridation ou collecte locale), mais la plupart des paysans utilisent toujours leurs semences de ferme de cultivars locaux ; 'Mitali' et 'Miseriseri' sont des cultivars bien connus. En Ethiopie, plus de 15 cultivars supérieurs en potentiel de rendement, taille et couleur de la graine et résistance aux maladies ont été mis sur le marché pour diverses conditions agro-écologiques. Ces cultivars comprennent 'Holetta' (issu d'une collecte locale), 'Tegegnech' (introduit du Burundi), 'Hassabe' et 'Markos' (introductions provenant du Centre international de recherche agricole sur les régions arides, ICARDA) et 'Adi', 'Milky' et 'Wolmera' (obtenus par hybridation de cultivars locaux adaptés avec des introductions provenant des Etats-Unis et de l'ICARDA).
Quant au pois mangetout, l'objectif de sélection le plus urgent est la résistance à l'oïdium (disponible chez 'Manoa Sugar') et dans une moindre mesure à l'ascochytose (disponible chez les cultivars de petit pois). Le caractère "gousse comestible" (absence de parchemin sur les parois de la gousse) est induit par deux gènes récessifs. Une mutation provoquant un épaississement de cette paroi (jusqu'à 3 mm) a récemment été introduite chez les cultivars américains, donnant naissance à des mangetouts charnus, appelés "sugar snap pea". Le caractère de gousse charnue "sugar snap" sera intéressant s'il plaît au consommateur. Il pourrait aussi être intéressant d'introduire davantage de nouveaux caractères dans le pois mangetout, pour obtenir par ex. de vrais nains pouvant être cultivés sans tuteur, ou des types grimpants semi-aphylles permettant d'augmenter les rendements grâce à des densités de plantation plus élevées et facilitant le ramassage des gousses. Pour le pois mangetout, les cultivars répandus en Afrique sont 'Sugar Snap', 'Carouby de Maussane', 'Oregon Sugar Pod', 'Shield' et 'Sugar Queen'. Parmi les cultivars de petit pois, on peut citer 'Alderman', 'Télévision' et 'Green Feast'. De nombreux producteurs utilisent leur propres semences issues d'introductions anciennes.
Une carte de liaison génétique consensuelle a été établie pour *Pisum sativum* sur la base de diverses cartes antérieures. On y a identifié des locus de caractères quantitatifs associés, entre autres, au rendement en graines, à la teneur des graines en protéines, la maturité précoce, la résistance à la verse, la hauteur de la plante et la résistance à divers stress biotiques (comme l'ascochytose, la nécrose des racines à *Aphanomyces* et *Orobanche crenata*). Des procédés d'embryogenèse somatique par culture de tissus, directe autant qu'indirecte, ont été mis au point pour le pois. Des plantes transgéniques ont été produites au moyen de vecteurs de transformation basés sur *Agrobacterium*, par ex. pour augmenter la résistance à *Callosobruchus chinensis*, *Callosobruchus maculatus* et *Bruchus pisorum*, en incorporant un gène inhibiteur de l'α-amylase à partir de *Phaseolus vulgaris*.

Perspectives Le pois sec restera important en Afrique centrale et orientale, ainsi que dans les régions tempérées. C'est une source essentielle et peu coûteuse de protéines, qui fixe l'azote atmosphérique et joue un rôle important dans les systèmes agricoles en interrompant la monoculture céréalière. Un inconvénient est sa susceptibilité aux maladies, qui peut être palliée par le développement de cultivars résistants. Comme denrée d'exportation potentielle, il pourrait offrir des perspectives intéressantes dans les années à venir, et les plus importants pays producteurs d'Afrique tropicale pourraient profiter des marchés africains (Maroc et Soudan), européens (Pays-Bas, France, Grèce), proche-orientaux (Israël et Yémen) et asiatiques (Inde et Pakistan). Le pois mangetout et le petit pois vont peu à peu prendre de l'importance sur les marchés urbains d'Afrique tropicale. Le pois mangetout est souvent considéré comme un légume plus savoureux que le haricot vert et il pourrait être intéressant d'augmenter sa production tant pour le marché intérieur africain que pour l'export. Le petit pois pourrait être produit sur place à plus grande échelle pour remplacer les importations de conserves.

Références principales Cousin, 1992; Davies, 1989; Ellis & Poyser, 2002; Kay, 1979; Knight (Editor), 2000; Kraft & Pfleger, 2001; Nadolska-Orczyk & Orczyk, 2000; Telaye et al. (Editors), 1994; Thulin, 1989a; Westphal, 1974.

Autres références Aburjaj & Natsheh, 2003; AVRDC, 1992; FAO, 1998; Griga, 2002; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant

Research (Editors), 2001; Hebblethwaite, Heath & Dawkins, 1985; Holland, Unwin & Buss, 1991; INRA, 2000; Kalloo, 1993; Kraft, Larsen & Inglis, 1998; Makasheva, 1983; Messiaen et al., 1991; Olivier & Annandale, 1998; Paul, Southgate & Russell, 1980; Pilet-Nayel et al., 2002; Pope, Polhill & Martins (Editors), 2003; Rubatzky & Yamaguchi, 1997; Schroeder et al., 1995; Valderrama et al., 2004; Wroth, 1998.

Sources de l'illustration Davies, 1989.

Auteurs C.-M. Messiaen, A.A. Seif, M. Jarso & G. Keneni

SECALE CEREALE L.

Protologue Sp. pl. 1: 84 (1753).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 14$

Noms vernaculaires Seigle (Fr). Rye (En). Centeio (Po).

Origine et répartition géographique On ne connaît pas exactement le centre d'origine du seigle, mais son centre de diversité actuel se trouve dans les régions montagneuses de l'Afghanistan, de l'Iran et du Proche-Orient. C'est probablement de là que le seigle s'est diffusé vers les régions avoisinantes d'Asie, du nord de l'Afrique et plus tard, comme pour le blé, en Russie, en Europe centrale et occidentale, où il est cultivé en climat tempéré. Le seigle est une "plante cultivée secondaire" typique : c'était d'abord une adventice dans les champs de blé et d'orge, qui a ensuite été adoptée comme espèce cultivée. Il a probablement été domestiqué avant 3000–4000 av. J.-C. On a retrouvé en Turquie des grains de seigle qui remontaient à 6000 av. J.-C., mais on ignore s'il s'agissait de grains de formes cultivées ou adventices. La culture du seigle s'est répandue sur tous les continents, surtout dans les régions de climat tempéré. Il est parfois cultivé en altitude dans les régions tropicales et subtropicales. En Afrique tropicale, le seigle est cultivé sur les hautes terres d'Afrique de l'Est ; sa culture a également bien réussi au Malawi. En Ethiopie, le seigle est cultivé par endroits sur les hauts plateaux d'Arsi, où il a été introduit au cours des années 1960 grâce à des projets suédois. Sa culture a été tentée à titre expérimental en Zambie et au Mozambique, mais apparemment sans grand succès. Au Nigeria, on a essayé de le produire pour le fourrage au cours des années 1980. On trouve également des cultures de seigle au Maroc, en Algérie, en Egypte et en Afrique du Sud.



Secale cereale – planté

Usages Si le grain de seigle est utilisé pour l'alimentation humaine, au niveau mondial il est plus important pour l'alimentation animale. On en fait du pain, des gâteaux, des biscuits salés, etc. Le grain entier ou brisé peut servir à la fabrication du pain ; pour les gâteaux, le grain doit être moulu. La farine de seigle est souvent mélangée à la farine de blé. En Afrique, on trouve que la farine de seigle donne une bonne bouillie avec une égale mesure de farine de maïs ; utilisée seule, elle est considérée trop sucrée. On peut faire germer le grain de seigle pour en faire du malt pour la bière ; plusieurs boissons alcoolisées sont obtenues en distillant des grains de seigle maltés, par ex. le whisky de seigle en Amérique du Nord et des vodkas en Pologne et en Russie. La farine de seigle sert d'agent épaississant pour les soupes et les sauces.

Les grains de seigle servent d'aliment du bétail, en particulier dans l'élevage des porcs. Quant à l'amidon, on l'emploie dans l'industrie pour produire de la colle, des allumettes, de la gomme pour coller le papier et des matières plastiques. La paille de seigle se récolte pour l'alimentation animale, pour la litière (dans les étables), pour les toits de chaume, le paillage, pour des applications industrielles (papier/cartonnages), comme matériau d'emballage (plants de pépinière, fromages) et comme combustible. Le seigle immature se récolte en plante entière comme fourrage, et on le cultive comme engrais vert ou comme plante de couverture. En Europe et en Inde, le seigle se cultive parfois comme plante hôte de l'ergot (*Claviceps purpurea*), qui s'utilise en médecine, par ex. contre la migraine. Les extraits de pol-

len de seigle sont homologués et se vendent dans le commerce comme remède contre l'hyperplasie de la prostate, en Europe occidentale, au Japon, en Corée et en Argentine. En Europe, des recherches sont en cours pour faire du seigle une plante productrice de biomasse pour l'énergie.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale de seigle en 1999–2003 s'élevait à 20 millions de t/an sur 9 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Fédération de Russie (5,6 millions de t/an sur 3,2 millions d'ha), la Pologne (4,2 millions de t/an sur 1,9 million d'ha) et l'Allemagne (3,9 millions de t/an sur 0,7 million d'ha). On ne dispose pas de statistiques de production pour l'Afrique tropicale. Les exportations mondiales de seigle en 1998–2002 se sont élevées à près de 1,8 million t/an. Le principal exportateur était l'Allemagne (1,1 million t/an) ; les principaux importateurs étaient le Japon (360 000 t/an), la Fédération de Russie (170 000 t/an), la Corée du Sud (170 000 t/an) et la Chine (140 000 t/an).

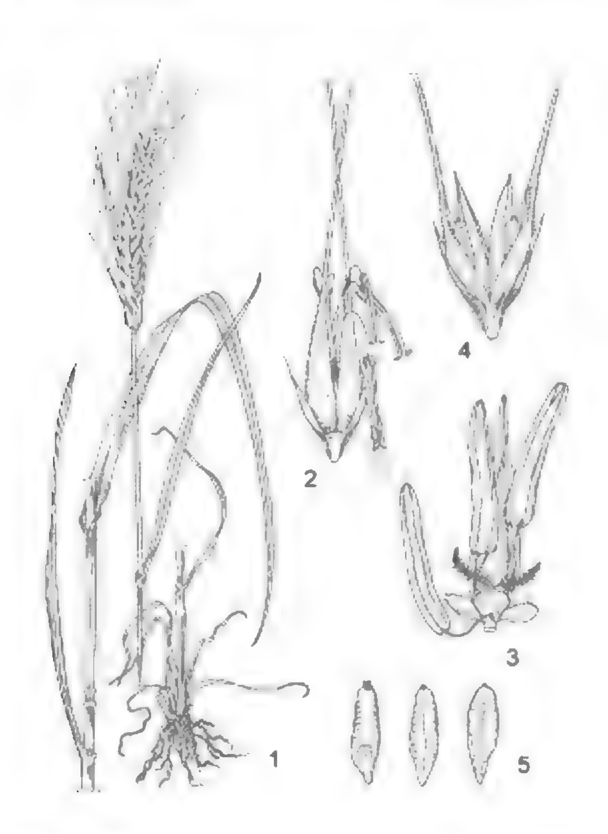
Propriétés Le seigle contient, par 100 g de partie comestible : eau 11,0 g, énergie 1402 kJ (335 kcal), protéines 14,8 g, lipides 2,5 g, glucides 69,8 g, fibres alimentaires 14,6 g, Ca 33 mg, Mg 121 mg, P 374 mg, Fe 2,7 mg, Zn 3,7 mg, vitamine A 11 UI, thiamine 0,32 mg, riboflavine 0,25 mg, niacine 4,3 mg, vitamine B_6 0,29 mg, folates 60 μg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 154 mg, lysine 605 mg, méthionine 248 mg, phénylalanine 674 mg, thréonine 532 mg, valine 747 mg, leucine 980 mg et isoleucine 549 mg (USDA, 2004). On connaît des cultivars de seigle relativement riches en lysine. Les principaux acides gras (par 100 g de partie comestible) sont : acide linoléique 958 mg, acide oléique 280 mg, acide palmitique 271 mg et acide linolénique 147 mg. En raison d'une teneur limitée en gluten, le pain fabriqué avec la farine de seigle possède une structure compacte ; des grains ou des brisures de seigle sont généralement associés à de la farine de blé pour améliorer le volume et la texture du pain. Comme le seigle n'est pas complètement sans gluten, il est contre-indiqué dans le régime des personnes atteintes de la maladie cœliaque.

L'amidon de seigle possède une grande capacité d'absorption de l'eau, ce qui permet de l'utiliser dans les produits adhésifs. La valeur du seigle comme aliment du bétail est inférieure à celle des autres céréales, parce que les animaux en absorberaient une moindre quantité, phénomène dont les causes restent obscures. C'est pourquoi le seigle s'emploie en mélange avec d'autres céréales. La paille de seigle ne convient pas bien au fourrage parce qu'elle est dure et fibreuse. Dans une étude menée aux Etats-Unis sur la qualité du fourrage, la teneur en protéines brutes de la plante entière de seigle est tombée de 27,8% au cours du stade végétatif à 24,2% au stade de gonflement de l'épi, et à 13,4% au stade de l'épiaison ; la digestibilité de la matière sèche in vitro au cours de ces trois stades était de 79%, 81% et 70% respectivement. Bien que les extraits de pollen soient employés pour traiter l'hyperplasie prostatique bénigne, on ne dispose pas de résultats d'études sur le long terme, et une méta-étude n'a pas fait ressortir de preuves suffisamment convaincantes.

Le seigle, ses résidus et ses extraits aqueux ont des propriétés allélopathiques, qui confortent son utilisation comme plante de couverture éliminant les mauvaises herbes. Les principaux composés allélopathiques sont la 2,4-dihydroxy-1,4(2H)-benzoxazine-3-one et son produit de décomposition, la 2(3H)-benzoxazolinone. Les effets du paillage de seigle sur les mauvaises herbes subsistent pendant 30–75 jours après la mort du seigle.

Description Graminée annuelle, en touffe, atteignant 1,5(–3) m de haut, souvent bleu-vert ; tige (chaume) érigée, mince, creuse sauf aux nœuds, glabre mais pubescente à proximité de l'épi, produisant des talles et des racines à la base ; système racinaire étendu, pénétrant jusqu'à 2 m de profondeur. Feuilles alternes, simples ; gaine longue et lâche, à petites auricules ; ligule courte et découpée ; limbe linéaire-lancéolé, de 10–20 cm × 1–2 cm, lisse ou légèrement scabre. Inflorescence : épi terminal de 7–15 cm de long, arqué, très barbu, à épillets alternes et insérés très serré sur un long rachis en zigzag. Epillets à 2 fleurs, fleurs bisexuées ; glumes subulées, à 1 nervure, atteignant 1 cm de long ; lemme lancéolée, atteignant 2 cm de long, rétrécie en une arête de 2–8 cm de long, à 3(–5) nervures, carène distinctement munie de soies raides ; paléole à peu près aussi longue que la lemme, sans arête, scabre sur la carène ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) oblongoïde, de 4,5–10 mm × 1,5–3,5 mm, à sillon étroit, à courte pointe, brun pâle, glabre.

Autres données botaniques Le genre *Secale*, qui comprend 3 espèces, est réparti de l'Europe orientale à l'Asie centrale ; une espèce est pré-



Secale cereale – 1, port de la plante ; 2, épillet en fleurs ; 3, fleur sans lemme ; 4, épillet en fruits ; 5, grains.
Source: PROSEA

sente également en Afrique du Sud. *Secale cereale* est la seule espèce cultivée. *Secale strictum* (C.Presl) C.Presl subsp. *africanum* (Stapf) K.Hammer (synonyme : *Secale africanum* Stapf) est présent dans un seul endroit en Afrique du Sud. Des sources indiquent qu'il y est consommé comme céréale. Il est apprécié par le bétail et la volaille, et est considéré comme une espèce potentielle de pâturage.

La littérature distingue 2 sous-espèces au sein de *Secale cereale* : subsp. *cereale* (qui comprend les types cultivés à rachis solide) et subsp. *ancestrale* Zhuk. (qui comprend les types sauvages et adventices, à rachis plus ou moins fragile et que l'on trouve surtout en Asie occidentale). Mais l'on a distingué également des sous-espèces en plus grand nombre. Au sein du seigle cultivé, il y a de nombreuses variétés locales (généralement à chaumes longs et à petits grains) et de nombreux cultivars.

Des hybrides de seigle et de blé, appelés triticale (×*Triticosecale*) ont été mis au point, qui présentent un mélange des caractéristiques de leurs parents, combinant la rusticité du seigle avec la forte productivité et la qualité du blé. Le triticale n'est pour le moment cultivé que très localement en Afrique tropicale, par ex. en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie et à Madagascar, ainsi qu'au nord de l'Afrique et en Afrique du Sud. Cette nouvelle plante alimentaire n'a pas été à la hauteur des attentes, mais elle est de plus en plus appréciée comme plante fourragère.

Croissance et développement Le seigle germe en 4 jours à une température du sol de 4–5°C, et plus rapidement à des températures plus élevées. A l'émergence de la quatrième feuille, des talles et des racines se forment pour permettre l'ancrage de la plante. L'initiation des pousses cesse lorsque la plante atteint le stade reproductif. Ensuite, l'élongation de la tige démarre, puis l'initiation et la différenciation de l'inflorescence. Sur chaque épi sont produits 40–45 épillets, dont 30–35 portent 1–2 grains, ce qui donne 45–55 grains par épi. La floraison dure 3–5 jours pour un épi et 8–12 jours pour un champ. Le vent assure la pollinisation croisée du seigle. La période post-florale correspondant au remplissage du grain est de 4–5 semaines. Il s'écoule 4–10 mois du semis à la récolte. La durée de la croissance dépend largement de la température lors du développement reproductif. Dans les régions tempérées, on distingue le seigle d'hiver, qui se sème en automne de manière à recevoir suffisamment de jours froids et courts pour induire la vernalisation et la croissance reproductive ; et le seigle de printemps, qui se sème au début du printemps et peut se récolter au bout de 4–6 mois.

Ecologie Le seigle est une culture de climats tempérés ; dans les tropiques, sa culture se pratique à des altitudes élevées, comme en Ethiopie à 3000–3900 m. Les jeunes plantes peuvent supporter le gel jusqu'à −25°C. Le tallage, la croissance des pousses et l'initiation florale exigent des températures assez basses (10–15°C) ; pour une bonne croissance au cours du développement reproductif, la température journalière moyenne ne doit pas dépasser 20°C. Le seigle tolère la sécheresse. La floraison est favorisée par un temps sec et ensoleillé. Des pluies incessantes, une humidité élevée et des températures basses freinent la pollinisation, ce qui empêche en partie la formation des grains. Le seigle d'hiver est une plante de jours longs ; le développement reproductif est stimulé par des journées qui rallongent et passent de 14 à 20 heures. Par conséquent, le seigle d'hiver se cultive surtout à des latitudes comprises entre 40–65°N. Des cultivars de seigle de printemps sont parfois cultivés en haute altitude dans les régions subtropicales et tropi-

cales. Ils sont moins sensibles à la longueur du jour et ne nécessitent pas de vernalisation. Leur floraison et la formation de leurs grains sont satisfaisantes à des durées de jour de 12–13 heures. La culture du seigle peut se pratiquer sur des sols bien aérés de tous types dont le pH est de 5–7,5, mais c'est principalement sur des sols légers sableux et tourbeux qu'il est cultivé.

Multiplication et plantation Le seigle est reproduit par graines. Le poids de 1000 graines est de 20–40 g. En Europe, le moment le plus favorable au semis du seigle d'hiver se situe habituellement entre la mi-septembre et la mi-octobre. Les graines peuvent se semer manuellement à la volée, mais elles ont besoin d'être recouvertes pour permettre une germination correcte. Les conditions les plus favorables sont obtenues en plantant au semoir mécanique à une profondeur homogène de 2–4 cm sur des lignes espacées de 10–25 cm. Les densités de semis varient de 100–150 kg/ha, pour obtenir une densité optimale de 200–300 plantes/m². Le seigle de printemps demande à être semé le plus tôt possible, si nécessaire même en hiver si les conditions du sol sont réunies pour préparer le lit de semis. Le seigle de printemps, qui ne talle pas beaucoup, exige une densité de semis plus importante (150–200 kg/ha) que le seigle d'hiver.

Gestion Il existe une forte compétition entre le seigle et les adventices, mais celles-ci peuvent causer des problèmes lors de la moisson. On peut procéder à leur élimination de façon mécanique, par hersage ou par binage, ou au moyen d'herbicides lors du tallage. La verse peut entraîner des dégâts considérables. La quantité d'engrais nécessaire est en grande partie liée au rendement espéré ; environ 20 kg de N, 4 kg de P et 13 kg de K sont absorbés du sol pour chaque t de grain produite. Près de 75–80% du N et du P sont exportés par les grains, tandis que 75% du K reste dans la paille. L'azote est souvent le nutriment le plus limitant pour le rendement. Pour des rendements supérieurs à 5 t/ha, il est préférable de fractionner l'apport d'azote.

Maladies et ravageurs Le seigle a la réputation d'être assez tolérant aux maladies. Quoi qu'il en soit, après la germination, la fusariose (*Fusarium nivale*) peut provoquer des pertes en plantes considérables, et la rouille brune (*Puccinia recondita* f.sp. *secalis*) peut endommager gravement les feuilles et les tiges. La maladie la plus remarquable est l'ergot (*Claviceps purpurea*), qui contamine les grains, en particulier lorsqu'ils se forment mal ; il produit des sclérotes qui contiennent des alcaloïdes. Les grains touchés par l'ergot sont toxiques ; ils provoquent un ergotisme gangréneux ou convulsif, et peuvent rendre un lot de seigle impropre à la consommation humaine et animale. Aucune source de résistance à cette maladie n'a encore été identifiée chez le seigle. Parmi les autres maladies figurent le piétin-verse (*Pseudocercosporella herpotrichoides*), le rhizoctone (*Rhizoctonia solani*), l'oïdium (*Erysiphe graminis*), la rouille noire (*Puccinia graminis*), la septoriose (*Septoria nodorum*) et la maladie des taches brunes (*Rynchosporium secalis*). On peut lutter contre la plupart des maladies fongiques au moyen de fongicides, mais les dégâts causés par la fusariose, le rhizoctone et l'ergot ne peuvent être limités qu'en recourant à des semences saines et traitées. On trouve de nombreux cultivars de seigle offrant une résistance à la rouille brune et la rouille noire, et la résistance à ces maladies a été transférée du seigle au blé au moyen de croisements intergénériques. Les dégâts occasionnés pas les virus ne sont pas importants. Le nématode *Ditylenchus dipsaci* peut affecter le seigle, mais il est peu fréquent. Il y a peu d'insectes ravageurs dans les cultures du seigle.

Récolte Le moment de la récolte du seigle en Europe se situe au milieu de l'été, lorsque la teneur en humidité du grain est inférieure à 15%. La récolte peut s'effectuer à la main ; on peut utiliser les mêmes méthodes que celles utilisées pour le sorgho et les millets pour la moisson, le battage, le ramassage et le stockage. Pour moissonner mécaniquement, il vaut mieux attendre que la teneur en humidité soit descendue en dessous de 16%. Cependant, pour empêcher une perte de qualité due à une germination sur l'épi, la culture peut être moissonnée à une teneur en humidité plus élevée (18–20%), surtout si le temps reste pluvieux et retarde la maturation. Un séchage sera ensuite nécessaire, soit en gerbes au champ, soit mécaniquement pendant le stockage.

Rendements Les rendements en seigle varient considérablement ; de moins de 1 t/ha en Afrique, en Amérique latine et en Australie, ils passent à plus 5 t/ha dans certains pays occidentaux européens. Le rendement mondial moyen est d'environ 2 t/ha.

Traitement après récolte Une faible teneur en humidité du grain de seigle et des températures de stockage basses sont souhaitables pour assurer une conservation à long terme. La teneur en humidité du grain doit être infé-

rieure à 13% si on veut que le seigle se conserve 6 mois (sans aération) à 15°C. S'il y a une bonne aération, une teneur en humidité de 14–15% reste acceptable. Dans les régions tempérées, ces teneurs basses en humidité ne sont souvent pas atteintes au moment de la moisson, et le grain nécessite un séchage à l'air chaud. Le nettoyage se fait généralement avant ou pendant le stockage. Après séchage au champ, la paille est habituellement mise en bottes et entreposée dans les granges ou empilée en vue d'un usage ultérieur.

Ressources génétiques De vastes collections de ressources génétiques sont conservées en Fédération de Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg ; 2635 entrées), en Allemagne (à l'Institute for Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK) de Gatersleben : 1990 entrées), aux Etats-Unis (à l'USDA-ARS National Small Grains Germplasm Research Facility d'Aberdeen, Idaho ; 1823 entrées) et en Pologne (1366 entrées au Plant Breeding and Acclimatization Institute (IHAR) de Radzikow, Blonie ; 1362 entrées aux Botanical Gardens of the Polish Academy of Sciences, Varsovie). Les seules collections de ressources génétiques de seigle répertoriées en Afrique par l'IPGRI se trouvent en Afrique du Sud (178 entrées à la Division of Plant and Seed Control, Department of Agriculture Technical Service de Pretoria ; 52 entrées au Small Grain Institute, Bethlehem).

Sélection Les programmes d'amélioration génétique du seigle ont donné la priorité aux types d'hiver, et on a accordé beaucoup d'attention à des aspects tels que la rusticité en hiver, la rigidité de la paille, la résistance aux maladies et la résistance à la germination sur l'épi. Ces travaux d'amélioration ont débouché sur une augmentation considérable des rendements et de la régularité de la production, des plantes plus courtes, moins de verse et un indice de récolte accru. 'Petkus', 'Pearl', 'Steel' et 'King II' comptent parmi les cultivars les plus connus. Des tentatives d'exploitation de l'hétérosis afin d'accroître les rendements en grain ont donné lieu à des hybrides qui sont utilisés en production commerciale faisant appel à de forts intrants. Le rendement de ces hybrides est supérieur de 10–20% à celui des cultivars conventionnels, mais ils réclament davantage d'intrants (semences, produits phytosanitaires). Des cultivars tétraploïdes ont été mis au point dont la croissance est plus vigoureuse et les grains plus gros. *Secale cereale* a été croisé avec *Secale strictum* avec l'objectif d'améliorer la rusticité en hiver et la résistance à la sécheresse et aux maladies. Des cultivars de seigle vivaces, destinés à la production fourragère, ont été également mis au point par croisement de ces deux espèces. Pour la production d'ergot, on utilise des lignées mâle-stériles, qui facilitent l'inoculation par le champignon.

Le seigle est considéré comme l'une des plantes les plus récalcitrantes à la culture de tissus et aux transformations génétiques. Toutefois, des systèmes destinés à obtenir une transformation génétique stable du seigle au moyen d'*Agrobacterium tumefaciens* ou de méthodes biolistiques ont été développées. Il est possible d'obtenir de grandes quantités de plantes génétiquement identiques par régénération in vitro en recourant à des explants d'inflorescences immatures. Des cartes de liaisons génétiques du seigle, sur la base des différents types de marqueurs (RFLP, AFLP, RAPD et marqueurs microsatellites) ont également été construites. Des gènes conférant la résistance à la rouille brune ont été identifiés.

Perspectives Il se peut que par bien des aspects, le seigle soit inférieur aux autres céréales qui prédominent dans le monde (blé, riz et maïs), mais il restera une culture importante en raison de sa rusticité en hiver, de sa tolérance à la sécheresse, de son aptitude à croître sur des sols pauvres, et de la demande des consommateurs pour des produits de boulangerie qui possèdent son incomparable saveur. Les rendements restent largement à améliorer. L'emploi de semences de haute qualité, de nouveaux cultivars (hybrides) et de pratiques culturales de pointe peut augmenter les niveaux de rendement dans le court terme. En Afrique tropicale, les perspectives semblent limitées pour le seigle. On l'a essayé dans divers pays, mais sa culture n'a pas connu d'essor.

Références principales Darwinkel, 1996; Darwinkel, 1999; Frederiksen & Petersen, 1998; Fröman & Persson, 1974; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Khlestkina et al., 2004; Kulp & Ponte (Editors), 2000; Popelka & Altpeter, 2003; Popelka, Xu & Altpeter, 2003; Smartt & Simmonds (Editors), 1995.

Autres références Acharrya, Mir & Moyer, 2004; Allkämper, 1984; Barnes & Putnam, 1987; Bosworth, Hoveland & Buchanan, 1986; Burgos & Talbert, 2000; Gibbs Russell et al., 1990; Launert, 1971; Maikhuri, Nautiyal & Khali, 1991; Masiunas et al., 1997; Musa, 1985; Nwankiti, 1984; Phillips, 1995; Roux et al., 2004; Raemaekers (Editor), 2001; Scholz &

Ellerbrock, 2002; USDA, 2004; Vázquez & Linacero, 1995; Weston, 1996; Williamson, 1955; Wilt et al., 2000.

Sources de l'illustration Darwinkel, 1996.

Auteurs M. Brink

Basé sur PROSEA 10: Cereals.

SETARIA ITALICA (L.) P.Beauv.

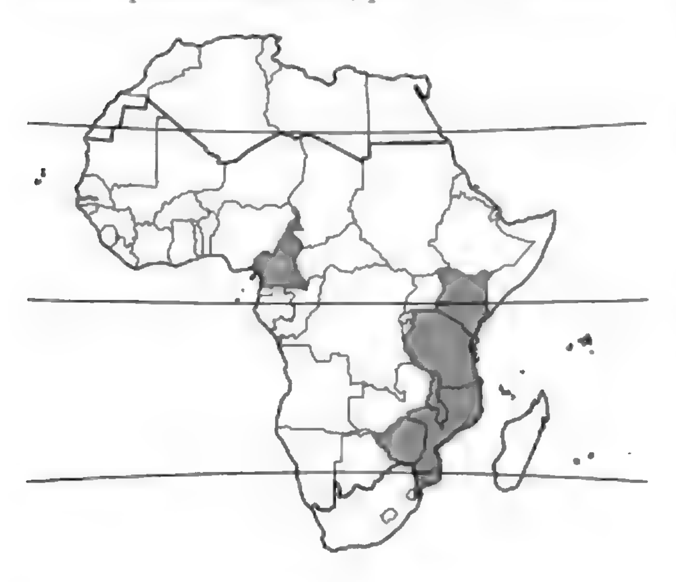
Protologue Ess. Agrostogr. : 51, 170, 178 (1812).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 18$

Noms vernaculaires Panis, millet des oiseaux, millet d'Italie (Fr). Foxtail millet, Italian millet, German millet (En). Painço, milho painço, milho painço de Itália (Po). Kimanga (Sw).

Origine et répartition géographique Le panis est une culture ancienne, pratiquée depuis 5000 av. J.-C. en Chine et 3000 av. J.-C. en Europe. Il a probablement évolué depuis l'espèce sauvage *Setaria viridis* (L.) P.Beauv. (sétaire verte), et sa première domestication a probablement eu lieu sur les hauts plateaux du centre de la Chine, d'où il s'est diffusé peu après vers l'Inde et l'Europe. Toutefois, cette origine n'est pas formellement établie et sa domestication pourrait bien avoir eu lieu n'importe où dans la zone qui va de l'Europe au Japon, peut-être en des occasions multiples et indépendantes. Le panis était le "panicum" des Romains. Aujourd'hui le panis est cultivé dans le monde entier. En Afrique tropicale, il est cultivé de façon restreinte dans les régions d'altitude d'Afrique de l'Est, mais on a parfois noté sa présence ailleurs, par ex. au Cameroun et en Afrique australe (Malawi, Zimbabwe, Mozambique). Dans ces régions, il est également présent à l'état subspontané. Le panis est aussi cultivé en Afrique du Sud et au Lesotho.



Setaria italica – planté

Usages Le grain de panis décortiqué est un aliment en Asie, dans le sud-est de l'Europe et en Afrique. Il est très important en Chine et en Inde. Le grain peut se cuire et se manger comme du riz, soit entier soit brisé. On peut le moudre et en faire un pain non-levé ou bien, si on le mélange à de la farine de blé, du pain levé. La farine sert aussi à confectionner des gâteaux, des bouillies et des desserts. Dans le nord de la Chine, le panis constitue une partie de l'alimentation de base ; on le mélange habituellement à des légumes secs et on le fait cuire, ou bien c'est la farine que l'on mélange à celle d'autres céréales pour fabriquer du pain et des nouilles. Considéré comme un aliment nourrissant, il est souvent recommandé aux personnes âgées et aux femmes enceintes. Depuis les années 1990, il sert en Chine à la production industrielle de mini-chips et de rouleaux croustillants ainsi que de farine pour les aliments pour bébés. Le panis s'emploie pour fabriquer de la bière et de l'alcool, en particulier en Russie et au Myanmar, ainsi que du vinaigre et du vin en Chine. Les graines germées se mangent comme légume, par ex. en Chine.

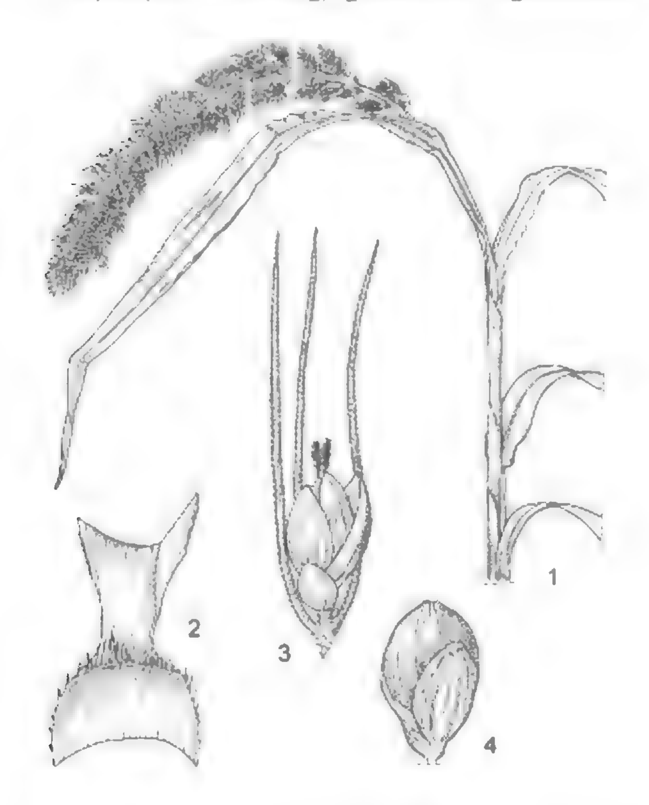
En Europe et aux Etats-Unis, le panis est avant tout cultivé pour nourrir les oiseaux, d'où son nom de "millet des oiseaux". C'est une plante fourragère importante ("moha") ; aux Etats-Unis et en Europe, il se cultive pour faire du foin et de l'ensilage, et en Chine sa paille constitue un fourrage important. La paille sert également à la couverture des toits et au couchage, par ex. en Inde. Le son sert d'aliment du bétail et on peut en extraire de l'huile. Le panis a la réputation d'avoir des propriétés diurétiques, astringentes et émollientes et s'emploie pour traiter les rhumatismes. Il peut se semer en bandes suivant les contours des champs pour lutter contre l'érosion.

Production et commerce international Les statistiques de production de panis sont peu abondantes car elles sont généralement groupées avec celles des autres millets. La production mondiale annuelle de panis au début des années 1990 a été évaluée à 5 millions de t (18% de la production totale de millets), la Chine étant le producteur principal. En Afrique tropicale, la production de panis est bien plus faible que celle du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.) et de l'éleusine (*Eleusine coracana* (L.)

Gaertn.), mais on ne dispose pas de statistiques. En Inde et en Chine, le panis se cultive principalement pour l'auto-consommation.

Propriétés La composition des grains entiers de panis, par 100 g de partie comestible, est : eau 12 g, énergie 1470 kJ (351 kcal), protéines 11.2 g, lipides 4,0 g, glucides 63,2 g, fibres brutes 6,7 g, Ca 31 mg, Fe 2,8 mg, thiamine 0,6 mg, riboflavine 0,1 mg et niacine 3,2 mg (FAO, 1995). La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de grain, est de : tryptophane 103 mg, lysine 233 mg, méthionine 296 mg, phénylalanine 708 mg, thréonine 328 mg, valine 728 mg, leucine 1764 mg et isoleucine 803 mg (FAO, 1970). Les grains d'amidon sont sphériques, anguleux ou polyédriques et leur diamètre est de 6–17 µm. La plupart des cultivars de panis sont dépourvus de gluten, ce qui les rend indiqués dans le régime des personnes atteintes de la maladie cœliaque. Le son contient environ 9% d'huile.

Description Graminée annuelle érigée atteignant 150(–175) cm de haut, en touffe, souvent diversement teintée de violet ; système racinaire dense, à minces racines adventives filiformes ; tige érigée, tallant à la base, parfois ramifiée. Feuilles alternes, simples ; gaine de 10–15(–25) cm de long, glabre ou légèrement poilue ; ligule courte, fimbriée ; limbe linéaire, de 15–30(–50) cm × 0,5–2,5(–4) cm, acuminé à l'apex, nervure médiane proéminente, légèrement rugueux. Inflorescence : panicule spiciforme de 5–30 cm × 1–2(–5) cm, érigée ou retombante, continue ou interrompue à la base ; rachis côtelé et poilu ; rameaux latéraux courts, portant 6–12 épillets. Epillets presque sessiles, sous-tendus par 1–3 soies atteignant 1,5 cm de long, elliptiques, généralement moitié moins longs que les soies, à 2 fleurs ; glume inférieure petite et à 3 nervures, glume supérieure légèrement plus courte que l'épillet, à 5 nervures ; fleur inférieure stérile, fleur supérieure bisexuée à lemme et paléole 5-nervées, à 2 lodicules, 3 étamines et un ovaire supère à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) largement ovoïde, atteignant 2 mm de long, jaune pâle à orange, rouge, brun ou noir, étroitement enfermé par la lemme et la paléole.



Setaria italica – 1, partie supérieure de la plante ; 2, ouverture de la gaine avec la ligule ; 3, épillet en fleurs avec soies ; 4, épillet en fruits. Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Setaria*, qui comprend une centaine d'espèces, est réparti dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées. Le panis est l'espèce du genre qui a la plus grande valeur économique. Plusieurs espèces sauvages de *Setaria* sont récoltées pour leurs graines, comme *Setaria finita* Launert en Namibie. *Setaria sphacelata* (Schumach.) Stapf et C.E.Hubb. ex M.B.Moss est cultivé comme plante fourragère dans toutes les régions tropicales et ses grains sont récoltés en Afrique comme aliment de famine. Les grains de *Setaria pumila* (Poir.) Roem. & Schult. sont eux aussi consommés comme aliment de famine, par ex. au Mali, au Burkina Faso, au Soudan et en Ethiopie, mais l'espèce est plus importante comme plante fourragère. *Setaria verticillata* (L.) P.Beauv. est aussi une plante fourragère, mais on la cueille aussi en temps de famine, par ex. au Niger, au Soudan et en Namibie.

Quant à *Setaria italica*, c'est un "complexe plante cultivée-adventice", c'est-à-dire qu'il comprend à la fois des types sauvages et cultivés. Ces types ne présentent pas de barrière au croisement et les analyses d'isozymes ainsi que les études moléculaires confirment leur similarité. On considère que les types sauvages représentent *Setaria viridis* (la sétaire verte), et les types cultivés *Setaria italica* (panis).

La sétaire verte est présente dans le monde entier comme adventice annuelle variable, commune surtout dans les régions tempérées. Elle diffère du panis par ses épillets totalement caduques, sa glume supérieure qui est à peu près aussi longue que l'épillet, et sa lemme

papilleuse plus rêche. Elle est parfois considérée comme une sous-espèce de *Setaria italica* : subsp. *viridis* (L.) Thell. C'est l'une des adventices les plus nuisibles au monde, mais on l'utilise parfois comme fourrage ou pour des usages médicinaux.
Le panis est très variable et il en existe de nombreux cultivars, qui diffèrent par la précocité, la hauteur de la plante, sa taille, le port et la structure de l'inflorescence, le nombre, la couleur et la longueur des soies, et la couleur des grains. Les cultivars primitifs possèdent de nombreuses tiges fortement ramifiées (comme la sétaire verte), tandis que les cultivars plus développés ne produisent qu'une seule tige à grande inflorescence solitaire.

Croissance et développement La floraison du panis démarre généralement 60 jours après le semis et dure entre 10–15 jours. Elle progresse du haut de la panicule vers le bas. Les fleurs s'ouvrent tard le soir ou en début de matinée, et ne tardent pas à se refermer. Largement autogame, le panis a un taux d'allogamie moyen de 4% ; il existe des hybrides naturels entre types cultivés et sauvages. Le cycle cultural complet est de 80–120 jours, mais il existe des cultivars qui n'ont besoin que de 60 jours pour arriver à maturité. Le panis a largement perdu sa capacité à disperser naturellement ses graines, et tend à avoir une maturité uniforme. Le panis a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Le panis est avant tout une culture de régions subtropicales et tempérées ; sous les tropiques, elle est cultivée jusqu'à 2000(–3300) m d'altitude. Elle ne tolère pas le gel. En Chine et en Inde, la culture est pratiquée surtout dans les régions où la pluviométrie annuelle est de 400–800 mm. Le panis n'est pas particulièrement résistant à la sécheresse, mais son cycle cultural court le rend indiqué aux régions à faibles précipitations et il peut être cultivé dans les régions semi-arides où la pluviométrie est inférieure à 125 mm au cours des 3–4 mois de sa croissance. Mais il est tout de même sensible à de longues périodes de sécheresse. Sa floraison est généralement accélérée par les jours courts, mais il existe des cultivars insensibles à la longueur du jour. Si le panis a une préférence pour les sols fertiles dont le pH avoisine 6,5, il se cultive néanmoins sur toutes sortes de sols, depuis les sols sablonneux légers jusqu'aux sols argileux lourds, et il produit même assez bien sur des sols pauvres ou marginaux. Il ne supporte pas l'asphyxie racinaire.

Multiplication et plantation Le panis se reproduit par graines. Le poids de 1000 graines est d'environ 2 g. La dormance est fréquente chez les semences fraîchement récoltées. Au Kenya, la densité de semis recommandée est de 4 kg/ha pour une culture pure, avec une distance de 30 cm entre les lignes et de 10 cm sur la ligne. En Chine et en Inde, la densité de semis pratiquée est de 5–15 kg/ha pour une culture pure, ce qui donne une densité de plantes de 300 000–1,5 million plantes/ha. On sème soit à la volée soit au semoir en lignes espacées de 20–60 cm, en laissant 5–20 cm entre les plantes sur la ligne, et en peut procéder ensuite à un éclaircissage. La profondeur de semis habituelle est de 3–6 cm et il faut un lit de semis fin et ferme. Le panis se cultive en culture soit pure soit intercalaire, par ex. avec de l'éleusine, du coton, du sorgho ou du pois cajan en Inde.

Gestion Au Kenya, on recommande de procéder au premier désherbage du panis 2–3 semaines après la levée des plantules, et au second 2 semaines plus tard. En Inde, le désherbage se pratique habituellement une fois, 3 semaines environ après le semis. Le panis réagit bien à l'épandage de fumier, mais en général, ce sont seulement les cultures irriguées qui en bénéficient. D'habitude c'est une culture pluviale, mais on la pratique aussi sous irrigation, par ex. en Inde. Le panis se cultive fréquemment en rotation avec l'éleusine et le sorgho en Inde. Parfois, on le cultive comme culture dérobée, quand le riz n'a pas marché.

Maladies et ravageurs Les maladies les plus graves du panis sont la piriculariose (*Pyricularia setariae*), le mildiou (*Sclerospora graminicola*), la rouille des feuilles (*Uromyces setariae-italiae*) et le charbon (*Ustilago crameri*). On peut lutter contre le mildiou et le charbon en traitant les semences. Les insectes ravageurs importants du panis sont les mouches des pousses (*Atherigona* spp.), les grillons, les insectes foreurs et les chenilles. Le panis est extrêmement sensible aux attaques des oiseaux au champ, et les souris et les rats font aussi des dégâts. Outre les insectes courants des grains stockés, le charbon de la graine (*Sorosporium bullatum*) et le charbon de l'amande (*Ustilago paradoxa*) peuvent être responsables de pertes considérables.

Récolte La récolte du panis se fait à la main, en coupant les panicules et en les battant. La récolte mécanisée à l'aide d'une moissonneuse-batteuse ou d'une lieuse est envisageable. Dans le sud de l'Inde, ce sont les plantes entières qui peuvent être coupées puis dé-

piquées par piétinement avec des bovins ou en passant un rouleau de pierre sur les plantes. Lorsqu'il est cultivé pour le fourrage, le panis doit être récolté avant la floraison.

Rendements Le rendement moyen annuel du panis pluvial est de 800–900 kg/ha de grain et de 2500 kg/ha de paille. Les cultivars améliorés en Chine produisent 1800 kg/ha de grain dans des régions où la pluviométrie annuelle est inférieure à 900 mm. On peut obtenir des rendements en grain bien supérieurs grâce à l'irrigation (en Chine, des rendements expérimentaux ont atteint 11 t/ha). S'il s'agit du fourrage, le rendement peut être de 15–20 t de matière verte par ha ou 3,5 t de foin.

Traitement après récolte Le panis doit être bien séché avant d'être stocké. Le décorticage du grain se fait d'habitude juste avant sa transformation, parce que les grains décortiqués sont facilement attaqués par les insectes. Le décorticage peut s'effectuer à la meule de pierre ou en rizerie. En Chine, de mini-chips sont confectionnés avec des grains décortiqués cuits ; le produit est ensuite pressé à une épaisseur de 1 mm, puis séché, frit à l'huile et aromatisé. Les rouleaux croustillants sont fabriqués avec des grains décortiqués trempés, puis moulus, additionnés de sucre, grillés entre 2 plaques de fer et façonnés en rouleaux.

Ressources génétiques De vastes collections de ressources génétiques de panis sont conservées à l'Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS) de Pékin, en Chine (25 380 entrées), à l'Institut international de recherche sur les plantes cultivées des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) de Patancheru, en Inde (1528 entrées) et au All India Coordinated Minor Millet Project, à l'University of Agricultural Sciences, à Bangalore en Inde (1300 entrées). En Afrique, une collection de 451 entrées de panis est conservée au National Dryland Farming Research Station de Machakos, au Kenya. On a identifié une résistance à la piriculariose et à la rouille dans les collections.

Sélection L'amélioration génétique du panis est surtout menée en Chine et en Inde. Les principaux objectifs sont la mise au point de cultivars à haut rendement produisant des graines riches en protéines, résistants aux maladies, aux ravageurs et à la verse, et adaptés aux circonstances écologiques locales. En Chine, par exemple, on a mis au point des cultivars à cycle court et avec une bonne tolérance à la sécheresse et au froid ; ils peuvent se cultiver à la saison d'été à la suite du blé d'hiver. Au Kenya, le cultivar recommandé est 'KAT/FOX-1' ; il arrive à maturité en 3–4 mois. Les techniques employées pour l'amélioration génétique du panis font appel entre autres à la sélection, à l'hybridation (à l'aide de lignées mâle-stériles) et à la mutagenèse induite par radiations. La morphologie florale (fleurs très petites) et son comportement à la floraison rendent la pollinisation croisée artificielle du panis difficile, mais aux Etats-Unis, un procédé efficace d'hybridation artificielle a été mis au point. On a trouvé des taux importants d'hétérosis pour le rendement en grain (67%) et la longueur de la panicule (68%).

Perspectives Au niveau mondial, le panis, concurrencé par les principales céréales comme le blé, le riz, le maïs et le sorgho, a perdu son importance sur le plan alimentaire. Cependant, étant donné la brièveté de son cycle de culture et le fait qu'il peut se cultiver sur des types de sols très divers, il peut rester une culture utile en Asie sur des terres agricoles pauvres dans des régions où les précipitations sont faibles et où la saison de végétation est de courte durée. En Afrique tropicale, ses perspectives semblent limitées, mais il peut prendre de l'importance comme culture de niche dans les régions arides à des altitudes moyennes à élevées.

Références principales de Wet, Oestry-Stidd & Cubero, 1979; FAO, undated; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Oduori, 1993; Prasada Rao & de Wet, 1997; Prasada Rao et al., 1987; Purseglove, 1972; Rahayu & Jansen, 1996; Riley et al. (Editors), 1993; Seetharam, Riley & Harinarayana, 1990.

Autres références Benabdelmouna et al., 2001; Benabdelmouna, Abirached-Darmency & Darmency, 2001; Burkill, 1994; Clayton, 1989; CSIR, 1972; de Wet, 1995b; FAO, 1970; FAO, 1995; Gibbs Russell et al., 1990; Hulse, Laing & Pearson, 1980; ICRISAT & FAO, 1996; Klaassen & Craven, 2003; le Thierry d'Ennequin et al., 2000; Li et al., 1998; Malm & Rachie, 1971; Ministry of Agriculture and Rural Development, 2002; Petr et al., 2003; Siles, Baltensperger & Nelson, 2001; Siles et al., 2004; Wanous, 1990.

Sources de l'illustration Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Rahayu & Jansen, 1996.

Auteurs M. Brink

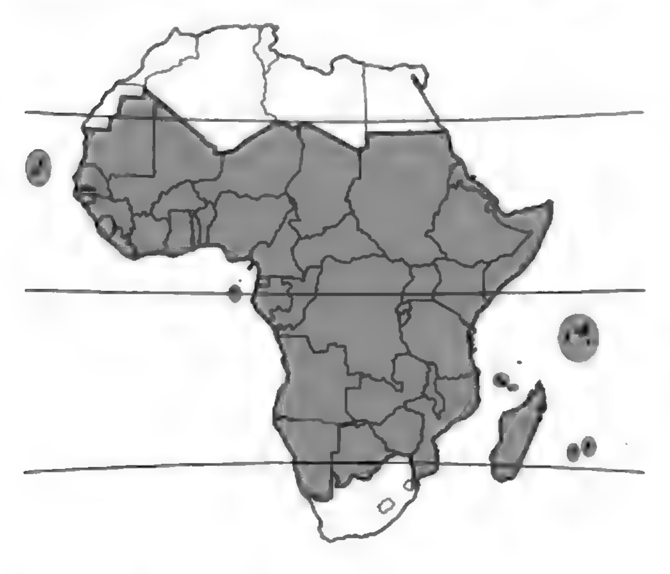
Basé sur PROSEA 10: Cereals.

SORGHUM BICOLOR (L.) Moench

Protologue Methodus : 207 (1794).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 20$

Noms vernaculaires Sorgho, gros mil, sorgho rouge (cultivars tinctoriaux), sorgho des teinturiers (cultivars tinctoriaux) (Fr). Sorghum, sorgo, guinea corn, great millet, durra (En). Sorgo, milho miúdo, massambala (Po). Mtama (Sw).

Origine et répartition géographique C'est au nord-est de l'Afrique tropicale qu'on trouve la plus grande diversité de *Sorghum*, aussi bien chez les types cultivés que sauvages. Il se peut que la plante ait été domestiquée dans cette région, peut-être en Ethiopie. Différentes hypothèses ont été avancées quant à l'époque de la domestication, depuis 5000–3000 avant J.-C. jusqu'à 1000 avant J.-C., mais c'est surtout la dernière période qui fait aujourd'hui consensus. A partir du nord-est de l'Afrique, le sorgho s'est diffusé dans toute l'Afrique et le long des voies maritimes et commerciales, du Proche-Orient à l'Inde. On suppose qu'il a été introduit d'Inde en Chine par la route de la soie et en Asie du Sud-Est par les voies maritimes côtières. L'introduction du sorgho dans les Amériques s'est faite depuis l'Afrique de l'Ouest avec le commerce des esclaves. Son introduction aux Etats-Unis pour une exploitation commerciale est partie d'Afrique du Nord, d'Afrique du Sud et d'Inde à la fin du XIXᵉ siècle. Par la suite, il a été introduit en Amérique du Sud et en Australie. Il est désormais cultivé partout dans les zones arides d'Afrique, d'Asie, des Amériques, d'Europe et d'Australie, à des latitudes comprises entre 50°N en Amérique du Nord et en Russie, et 40°S en Argentine. Les types de sorgho exclusivement cultivés pour le colorant contenu dans la gaine foliaire sont présents depuis le Sénégal jusqu'au Soudan.



Sorghum bicolor – planté

Usages Le sorgho est un aliment de base important, surtout dans les régions tropicales semi-arides d'Afrique et d'Asie, et c'est aussi un important aliment du bétail, tant en grain qu'en fourrage, dans les Amériques et en Australie. Dans les préparations culinaires les plus simples, on fait cuire le grain entier à l'eau (pour produire un aliment qui ressemble au riz), on le fait griller (en général au stade pâteux), ou on le fait éclater (comme le maïs). Mais le plus souvent, on moud le grain ou on le pile pour le réduire en farine, souvent après décorticage. La farine de sorgho sert à faire des bouillies épaisses ou liquides, des crêpes, des boulettes ou du couscous, des bières opaques ou troubles et des boissons fermentées sans alcool. En Afrique, on fait germer le grain de sorgho, puis on le met à sécher et on le moud pour faire du malt, que l'on utilise comme substrat de fermentation dans la production de bières locales. En cuisine, on préfère généralement le grain blanc, tandis que le grain rouge et le grain brun servent d'habitude en brasserie. Lorsqu'il existe une forte pression aviaire, comme c'est le cas autour du lac Victoria, ce sont les types rouges et bruns, riches en tanins, qui sont cultivés pour servir à l'alimentation au lieu des types blancs. En Chine, le sorgho se distille partout pour confectionner une eau de vie et un vinaigre prisés. Les grains de sorgho constituent une partie significative de l'alimentation du bétail, des porcs et des poulets aux Etats-Unis, en Amérique du Sud et centrale, en Australie et en Chine, et en Inde il prend de l'importance dans les aliments pour poulets. Pour tirer le meilleur parti de sa valeur nutritionnelle, il a besoin d'être moulu, aplati, floconné ou étuvé.

Plusieurs cultivars non comestibles de sorgho sont cultivés exclusivement pour le colorant rouge présent dans la gaine foliaire et parfois aussi dans les parties adjacentes de la tige. En Afrique, ce colorant s'emploie en particulier sur le cuir de chèvre (par ex. au Nigeria), mais aussi sur les nattes, les tissus, les bandes de feuilles de palmier et les herbes utilisées en vannerie et en tissage, sur les calebasses ornementales, la laine (au Soudan par ex.), comme peinture appliquée sur le corps et pour colorer le fromage et les pierres à lécher du bétail (au Bénin par ex.). Une teinture analogue peut être extraite des déchets des grains

(glumes et son) de plusieurs cultivars de sorgho rouge produits pour l'alimentation humaine et pour la brasserie. Au Nigeria, ces colorants rouges de sorgho servaient traditionnellement aux Bunus, aux Aworos, au Igbiras et aux Okpellas pour un tissu nommé "abata", employé comme catafalque et décoré de motifs constitués de fils épais ajoutés dans la trame. Les étoffes dont les couleurs dominantes dérivaient du sorgho étaient connues sous le nom de "ifala". Le sorgho sert aussi à fournir les violets qui décorent les masques portés par les Yoroubas au cours de certaines danses dans le sud du Bénin et dans le sud-ouest du Nigeria. En Côte d'Ivoire, les colorants du sorgho ainsi que d'autres sources, riches en tanin, sont associés avec de la boue pour créer les motifs des étoffes peintes produites dans la région de Korhogo. Jadis, le colorant était exporté vers le Maroc où il était employé dans l'industrie du cuir. En Chine, les types de sorgho à panicules et à gaines foliaires rouges servaient aussi à la teinture. Au XIXe siècle, les sorghos rouges furent exportés vers l'Europe, où le colorant était connu sous le nom de "carmin de sorgho". Son extraction s'effectuait en exprimant le jus, qu'on faisait ensuite fermenter. Sur de la laine ou de la soie mordancées à l'étain ou au chrome, on obtenait un brun-rouge solide, autrefois désigné sous l'appellation "rouge badois". Le "rouge durra", un produit similaire, était importé de l'Inde au Royaume-Uni, où la teinture portait le nom de "brun Hansen" ou "brun Meyer". L'utilisation de la teinture de sorgho en coloration capillaire a récemment fait l'objet d'un brevet.

Les tiges des types de sorgho doux se mâchent comme la canne à sucre et, principalement aux Etats-Unis, on en extrait un sirop sucré. En Amérique du Nord et en Europe de l'Est, des types spéciaux aux inflorescences très allongées, fibreuses et à graines peu nombreuses, désignés sous le nom de "sorgho à balais", sont cultivés pour fabriquer des balais. Les déchets végétaux du sorgho sont très couramment employés pour confectionner des toitures, des clôtures, ils se tissent et servent de combustible. La tige peut servir à produire des panneaux de fibres. Des scientifiques danois ont réalisé un placage de bonne qualité à partir de copeaux de la tige de sorgho. Les restes de chaumes qui subsistent après la moisson du grain sont fauchés pour nourrir les bovins, les moutons ou les chèvres, ou bien ils peuvent être broutés. Certains cultivateurs broient les chaumes récoltés et les mélangent à du son de sorgho ou à du sel pour nourrir le bétail. Le sorgho se cultive aussi pour le fourrage, que l'on donne directement aux ruminants ou que l'on conserve sous forme de foin ou d'ensilage. La farine de sorgho s'emploie pour produire un adhésif qui entre dans la fabrication du contreplaqué. Le sorgho doux convient à la production d'alcool, la bagasse quant à elle étant une bonne source de pâte à papier destinée à produire du papier kraft, du papier journal et des planches de fibres. Le sorgho possède différentes applications dans la médecine traditionnelle africaine : des extraits de graines se boivent pour traiter l'hépatite, et des décoctions de brindilles se prennent avec du citron contre la jaunisse ; feuilles et panicules entrent dans la composition de préparations végétales prises en décoctions contre l'anémie. Les Salkas, population du nord du Nigeria, utilisent le sorgho comme poison de flèche. Le pigment rouge, qui aurait des propriétés antimicrobiennes et antifongiques, sert aussi de remède à l'anémie en médecine traditionnelle.

Production et commerce international Le sorgho-grain occupe le cinquième rang mondial des céréales, après le blé, le riz, le maïs et l'orge. En Afrique, il arrive à la seconde place après le maïs en termes de production. D'après les estimations de la FAO, la production mondiale moyenne de sorgho-grain en 1999–2003 s'est élevée à 57,7 millions de t/an sur 42,6 millions d'ha. La production en Afrique subsaharienne était de 19,0 millions de t/an sur 22,8 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis (12,0 millions de t/an en 1999–2003 sur 3,2 millions d'ha), l'Inde (7,6 millions de t/an sur 9,8 millions d'ha), le Nigeria (7,6 millions de t/an sur 6,9 millions d'ha), le Mexique (6,0 millions de t/an sur 1,9 millions d'ha), le Soudan (3,4 millions de t/an sur 5,3 millions d'ha), l'Argentine (3,0 millions de t/an sur 630 000 ha), la Chine (3,0 millions de t/an sur 840 000 ha), l'Australie (1,9 millions de t/an sur 690 000 ha), l'Ethiopie (1,4 millions de t/an sur 1,2 millions d'ha) et le Burkina Faso (1,3 millions de t/an sur 1,4 millions d'ha). En Afrique subsaharienne, la production annuelle est passée de près de 10 millions de t sur 13 millions d'ha au début des années 1960 à environ 20 millions de t sur 25 millions d'ha au début des années 2000.

La quasi totalité du sorgho vendu sur les marchés internationaux est destinée à l'alimentation du bétail. Les exportations mondiales de sorgho en 1998–2002 se sont élevées en moyenne à 6,3 millions de t/an, et provenaient pres-

que toutes des Etats-Unis (5,6 millions de t/an). Les principaux importateurs sont le Mexique et le Japon. En Afrique tropicale, l'essentiel du sorgho est cultivé pour l'autoconsommation (sauf pour la production de bière). En Afrique australe et orientale, le malt de sorgho destiné à la brasserie est devenu une industrie commerciale à grande échelle, qui utilise près de 150 000 t de sorgho par an. En Ouganda, la production commerciale d'une bière de type lager utilisant du sorgho au lieu de l'orge est en passe de devenir une grande réussite (ses besoins annuels en sorgho sont de 3000 t) et elle est très prometteuse pour d'autres pays africains. Au Nigeria, le maltage du sorgho est devenu une industrie de premier plan dans la brasserie de lager et de stout et pour les boissons maltées, et elle utilise près de 15 000 t de sorgho par an. En Afrique du Sud, on trouve des céréales instantanées pour le petit déjeuner à base de sorgho, de qualité similaire aux produits à base de blé ou de maïs, mais bien moins chères. Leur production annuelle, qui est de 12 000 t, ne cesse d'augmenter. En Afrique de l'Ouest, de petites bottes de 4–6 gaines foliaires de cultivars de sorgho tinctorial sont en vente sur les marchés locaux (dans les années 1990, leur prix était d'environ 150 CFA). En 1993 au Burkina Faso, on a réussi à extraire chimiquement le pigment rouge de la gaine foliaire de sorgho et on l'a mis en vente sur le marché international sous forme d'une poudre sèche.

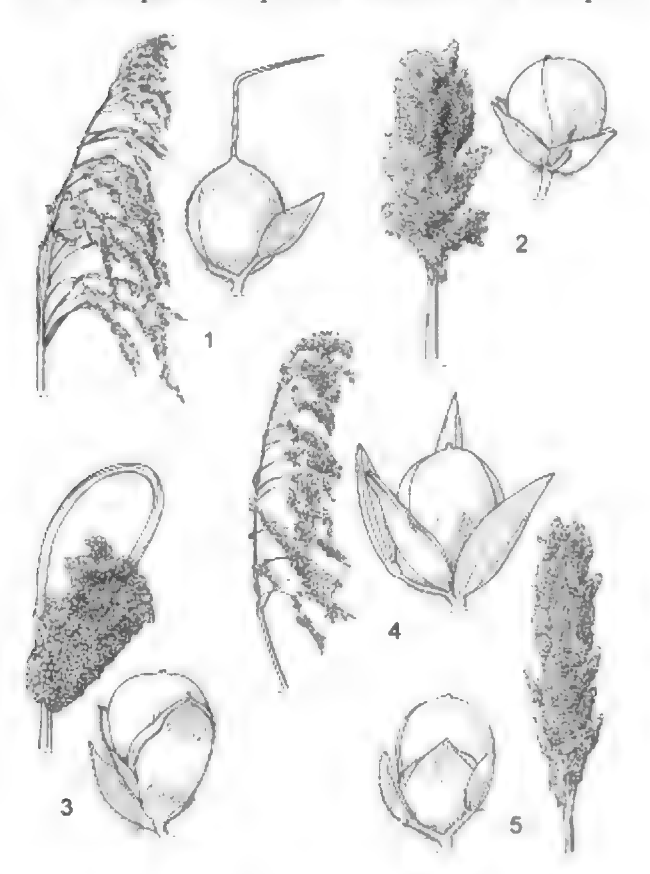
Propriétés La composition du grain de sorgho, par 100 g de partie comestible, est : eau 9,2 g, énergie 1418 kJ (339 kcal), protéines 11,3 g, lipides 3,3 g, glucides 74,6 g, Ca 28 mg, P 287 mg, Fe 4,4 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,24 mg, riboflavine 0,14 mg, niacine 2,9 mg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 124 mg, lysine 229 mg, méthionine 169 mg, phénylalanine 546 mg, thréonine 346 mg, valine 561 mg, leucine 1491 mg et isoleucine 433 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 1305 mg, acide oléique 964 mg et acide palmitique 407 mg (USDA, 2004). Le grain de sorgho est tout d'abord limitant en lysine, et ensuite en méthionine et en thréonine. Pour l'essentiel, la protéine du sorgho est constituée de prolamine (39–73%), qui est peu digeste. Par conséquent, la protéine disponible dans le grain de sorgho ne dépasse d'ordinaire pas 8–9%. La teneur en tanin du sorgho affecte également sa valeur nutritionnelle. On distingue chez le sorgho des types à teneur en tanin élevée et des types à teneur faible. Les types à teneur élevée en tanin (qu'on appelle parfois les "sorghos bruns", même si le grain est parfois blanc, jaune ou rouge) offrent une moindre valeur nutritionnelle tout en présentant des avantages sur le plan agronomique, comme la résistance aux oiseaux, aux insectes, aux champignons et une moindre tendance à germer sur la panicule. Les types de sorgho dont le grain est dépourvu de paroi pigmentée (les "sorghos blancs") ne contiennent pas de tanins concentrés et ont une valeur nutritionnelle équivalente à celle du maïs. Le décorticage, le blanchiment, le maltage ou l'immersion des grains de sorgho dans des solutions alcalines réduisent leur teneur en tanin de manière significative. En général, l'albumen représente 82–84% du poids du grain, le germe 9–10% et la paroi du grain 6–8%. Les granules d'amidon de l'albumen ont un diamètre de (4–)15(–25) μm. L'amidon contient habituellement 70–80% d'amylopectine et 20–30% d'amylose, mais il existe des types qui contiennent 100% d'amylopectine et d'autres près de 62% d'amylose. La température de gélatinisation est de 68–75°C. Le grain de sorgho ne contient pas de gluten et, à moins de le mélanger à du blé, il ne peut servir à produire des aliments levés.

La composition de la plante verte est variable en fonction de l'âge et du cultivar, mais elle comporte en général 78–86 g d'eau par 100 g de produit frais. Sur la base du poids sec, elle contient, par 100 g : protéines 12 g, glucides 40–50 g et fibres 20–30 g. La dhurrine, un hétéroside, est présente dans les parties aériennes de la plupart des sorghos. La dhurrine est hydrolysée en acide cyanhydrique (HCN), toxique puissant qui peut tuer les bêtes qui le broutent. Il est surtout concentré dans les jeunes feuilles et les talles ainsi que chez les plantes qui souffrent de la sécheresse. La teneur en HCN, qui décroît habituellement avec l'âge, atteint des niveaux non toxiques 45–50 jours après la plantation, et l'acide est détruit lorsque on transforme le fourrage en foin ou en ensilage.

Le pigment rouge des cultivars tinctoriaux est composé de substances anthocyaniques, particulièrement riches (95%) en un chlorure stable, l'apigéninidine (3-désoxyanthocyanidine), et en tanins du groupe condensé des proanthocyanidines (qui produisent des phlobaphènes rouges). Le pigment rouge de la gaine foliaire du sorgho fait plus de 20% du poids sec. Le rôle du champignon non pathogène *Bipolaris maydis*

dans la production d'apigéninidine de ces cultivars mérite un approfondissement des recherches. Utilisé sans mordant, le colorant tiré du sorgho donne un rouge sombre qui est assez solide et qui est encore très utilisé en Afrique de l'Est, en particulier au Soudan et en Ethiopie, pour teindre le cuir, le coton, et les herbes et roseaux qui servent aux nattes tissées. Les noirs sont obtenus avec de la soude carbonatée et des mordants ferriques. Dans les grains de sorgho rouge on a isolé les pigments suivants : apigénine, querciméritrine, glucosides de kaempférol, glucosides d'apigénidine, apigéninidine, lutéolinidine et 7-O-méthyl-lutéoline-glucoside. Les composants du colorant rouge isolé de la tige des cultivars de sorgho rouge sont une anthocyanidine : l'apigéninidine (17%) et des flavonoïdes : la lutéoline (9%) et l'apigénine (4%). La propriété attribuée au pigment rouge de guérir l'anémie a été confirmée dans des essais sur les rats.

Description Graminée annuelle atteignant 5 m de haut, à talle(s) unique ou multiples, partant de la base ou des nœuds de la tige ; racines concentrées dans les 90 premiers cm du sol mais pouvant parfois s'étendre à une profondeur deux fois plus grande, s'étalant latéralement jusqu'à 1,5 m ; tige (chaume) pleine, habituellement érigée. Feuilles alternes, simples ; gaine de 15–35 cm de long, souvent à pruine cireuse, garnie d'une bande de courts poils blancs à la base à proximité de l'attache, rougeâtre chez les cultivars tinctoriaux, auriculée ; ligule courte, d'environ 2 mm de long, ciliée sur le bord supérieur libre ; limbe lancéolé à linéaire-lancéolé, de 30–135 cm × 1,5–13 cm, érigé au départ puis s'incurvant, bords plats ou ondulés. Inflorescence : panicule terminale atteignant 60 cm de long ; rachis court ou allongé, pourvu de rameaux primaires, secondaires et parfois tertiaires, aux épillets par groupes de deux ou trois aux extrémités des rameaux. Epillet sessile et bisexué, ou bien pédicellé et mâle ou stérile, à 2 fleurs ; épillet sessile de 3–10 mm de long, à glumes de longueur à peu près égale, glume inférieure à 6–18 nervures, habituellement munie d'une grosse nervure en forme de carène de chaque côté, glume supérieure habituellement plus étroite et plus pointue, à carène centrale sur une partie de sa longueur, fleur inférieure constituée seulement d'une lemme, fleur supérieure bisexuée, à lemme fendue à l'apex, avec ou sans arête géniculée et torse, paléole (le cas échéant) petite et mince, lodicules 2, étamines 3 ; ovaire supère, 1-loculaire, à 2 styles allongés se terminant en stigmates plumeux ; épillet pédicellé persistant ou caduc, plus petit et plus étroit que l'épillet sessile, souvent constitué de deux glumes seulement, parfois à fleur inférieure constituée seulement d'une lemme et fleur supérieure avec la lemme, 2 lodicules et 3 étamines. Fruit : caryopse (grain), habituellement partiellement couvert par les glumes, de 4–8 mm de diamètre, arrondi et à pointe obtuse.



Sorghum bicolor – panicules et épillets des 5 races de base : 1, bicolor ; 2, caudatum ; 3, durra ; 4, guinea ; 5, kafir.
Source: PROSEA

Autres données botaniques Le genre *Sorghum* comprend 20–30 espèces. *Sorghum bicolor* appartient à la section *Sorghum* ainsi que les deux espèces pérennes *Sorghum halepense* (L.) Pers. et *Sorghum propinquum* (Kunth) Hitchc. Actuellement, *Sorghum bicolor* est généralement considéré comme un complexe plante cultivée/adventice extrêmement variable, comprenant des types sauvages, adventices et annuels cultivés (classés comme des sous-espèces) qui sont totalement interfertiles. Les types cultivés sont classés dans la subsp. *bicolor* (synonymes : *Sorghum ankolib* Stapf, *Sorghum caudatum* Stapf, *Sorghum cernuum* Host, *Sorghum dochna* (Forssk.) Snowden, *Sorghum durra* (Forssk.) Stapf, *Sorghum membranaceum* Chiov., *Sorghum nigricans* (Ruiz &

Pav.) Snowden, *Sorghum subglabrescens* (Steud.) Schweinf. & Asch., *Sorghum vulgare* Pers.) et on les sépare en races différentes sur la base de la morphologie du grain, de la forme de la glume et du type de panicule. Cinq races de base et 10–15 combinaisons hybrides de 2 ou plus de ces races sont reconnues et groupées dans la subsp. *bicolor*. Une classification en groupes de cultivars serait toutefois plus appropriée. Les 5 races de base sont les suivantes :

– Bicolor : c'est le sorgho cultivé le plus primitif, qui se caractérise par des inflorescences lâches et de longues glumes embrassantes qui à maturité renferment le grain, généralement petit. Ses cultivars sont exploités en Afrique et en Asie, certains pour leurs tiges sucrées dont on fait du sirop ou de la mélasse, et d'autres pour leurs grains amers qui servent à aromatiser la bière de sorgho, mais qui sont peu importants. Ils sont fréquents dans les milieux humides.
– Caudatum : se caractérise par des grains en dos de tortue qui sont aplatis d'un côté et courbes de l'autre ; la morphologie de la panicule est variable et les glumes sont habituellement bien plus courtes que le grain. Ses cultivars sont largement cultivés dans le nord-est du Nigeria, au Tchad, au Soudan et en Ouganda. Les types utilisés pour la teinture en font également partie, et les Haoussas au Nigeria les désignent sous le nom de "karan dafi".
– Durra : se caractérise par des inflorescences compactes, des épillets sessiles typiquement aplatis, et des glumes inférieures plissées ; le grain est souvent sphérique. Ses cultivars sont largement cultivés à la lisière sud du Sahara, en Asie occidentale et dans certaines régions de l'Inde. Le type durra est prédominant en Ethiopie et dans la vallée du Nil au Soudan et en Egypte. C'est la plus spécialisée et la plus évoluée de toutes les races et on trouve de nombreux gènes utiles chez ce type. Les cultivars durra ont un cycle de végétation qui va de long à court. La plupart résistent à la sécheresse.
– Guinea : se caractérise par des inflorescences généralement grandes et lâches aux rameaux souvent retombants à maturité ; le grain est typiquement aplati et tordu en oblique par rapport aux longues glumes béantes à maturité. Le sorgho guinea est présent avant tout en Afrique de l'Ouest, mais on le cultive aussi le long du rift d'Afrique de l'Est, depuis le Malawi jusqu'au Swaziland ; il s'est également propagé en Inde et dans les régions côtières de l'Asie du Sud-Est. De nombreux sous-groupes peuvent être distingués, dont certains ont des cultivars bien adaptés à des régimes de précipitations élevées ou faibles. Autrefois, le grain était souvent embarqué comme provision sur les navires en raison de sa bonne conservation.
– Kafir : se caractérise par des panicules relativement compactes de forme souvent cylindrique, des épillets sessiles elliptiques et des glumes étroitement embrassantes, généralement bien plus courtes que le grain. Le sorgho kafir est un aliment de base important dans les savanes de l'est et du sud, de la Tanzanie à l'Afrique du Sud. Les variétés locales de kafir tendent à être indifférentes à la photopériode et la plupart des lignées mâle-stérile importantes sur le plan commercial dérivent de ce type.

Les races hybrides présentent des combinaisons variées et des formes intermédiaires entre les caractéristiques des 5 races de base. On trouve les durra-bicolor principalement en Ethiopie, au Yémen et en Inde ; le guinea-caudatum est un sorgho très important cultivé au Nigeria et au Soudan, et le guinea-kafir se cultive en Afrique de l'Est et en Inde. Le kafir-caudatum est largement cultivé aux Etats-Unis, et la quasi totalité des cultivars hybrides modernes de sorgho-grain en Amérique du Nord sont de ce type. Le guinea-caudatum, avec son albumen jaune et ses grains de grande taille, est utilisé aux Etats-Unis dans les programmes d'amélioration génétique.

Les représentants sauvages sont classés dans la subsp. *verticilliflorum* (Steud.) Piper (synonymes : *Sorghum arundinaceum* (Desv.) Stapf , *Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp. *arundinaceum* (Desv.) de Wet & J.R.Harlan) : annuelle en touffes ou vivace à vie courte, à chaumes minces à trapus, atteignant 4 m de haut ; limbe de la feuille linéaire-lancéolé, atteignant 75 cm × 7 cm ; panicules habituellement grandes, quelque peu resserrées à lâches, atteignant 60 cm × 25 cm, rameaux ascendants obliquement, étalés ou retombants. Les types sauvages, qui couvrent toute la savane africaine, ont été introduits en Australie tropicale, dans certaines régions de l'Inde et dans le Nouveau Monde.

Les plantes adventices sont généralement considérées comme des hybrides entre subsp. *bicolor* et subsp. *verticilliflorum*, et appelées subsp. *drummondii* (Steud.) de Wet (synonymes : *Sorghum ×drummondii* (Steud.) Millsp. & Chase, *Sorghum aterrimum* Stapf, *Sorghum sudanense* (Piper) Stapf) ; on les trouve en

Afrique partout où le sorgho cultivé et ses cousins sauvages sont sympatriques, car ils se croisent librement. Ces plantes adventices viennent dans les champs récemment abandonnés et à la lisière des champs, et elles sont très persistantes ; tige atteignant 4 m de haut ; limbe de la feuille lancéolé, atteignant 50 cm × 6 cm ; panicule habituellement relativement resserrée, atteignant 30 cm × 15 cm, à rameaux souvent retombants. Une graminée fourragère bien connue, le "Sudan-grass" appartient à cet agrégat.

Croissance et développement La température optimale de germination des graines de sorgho est de 27–35°C. La levée des plantules prend 3–10 jours. L'initiation des panicules a lieu à peu près au tiers du cycle de croissance. A ce stade, le nombre total de feuilles (7–24) a été déterminé et près d'un tiers de la superficie totale des feuilles s'est développé. Le rapide développement des feuilles, l'élongation de la tige et l'expansion des entre-nœuds suivent l'initiation de la panicule. Une croissance rapide de la panicule a également lieu. Lorsque la feuille terminale est visible, toutes les feuilles, à l'exception des 3 ou 4 dernières, sont complètement ouvertes et l'interception de la lumière touche à son maximum ; les feuilles inférieures ont entamé leur sénescence. Au cours de la montaison, la panicule qui se développe a presque atteint sa taille définitive et elle est nettement visible dans la gaine foliaire ; l'ouverture des feuilles est achevée. Le pédoncule pousse rapidement et la panicule sort de la gaine foliaire. La floraison ne tarde pas à suivre l'émergence de la panicule, le délai étant largement influencé par la température. La floraison de chaque panicule, qui se fait du haut vers le bas, peut mettre 4–9 jours. Le sorgho est avant tout autogame ; il peut y avoir un taux de pollinisation croisée de 0–50%, mais la moyenne est d'environ 5–6%. Le remplissage du grain a lieu rapidement entre la floraison et le stade laiteux-pâteux, et c'est au cours de cette période que s'accumule environ la moitié de la matière sèche totale. Les feuilles du bas poursuivent leur sénescence et meurent. Au stade pâteux, le poids sec du grain atteint environ les trois quarts de son niveau ultime. A la maturité physiologique, déterminée par l'apparition d'une couche sombre sur le hile (là où le grain est attaché à la panicule), le poids sec maximal est atteint. A ce stade, la teneur en humidité du grain se situe d'habitude à 25–35%. Le délai entre floraison et maturité dépend des conditions du milieu, mais normalement il représente à peu près un tiers de la durée du cycle cultural. Le grain continue à sécher, depuis sa maturité physiologique jusqu'à la récolte, qui a généralement lieu lorsque la teneur en humidité du grain est tombée en dessous de 20%. Les feuilles peuvent soit dépérir rapidement soit rester vertes et reprendre leur croissance si les conditions s'y prêtent. Les cultivars précoces de sorgho ont un cycle de 100 jours ou moins, tandis que le sorgho à cycle long requiert 5–7 mois. Le sorgho a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Le sorgho est surtout une plante des milieux tropicaux chauds et semi-arides qui sont trop secs pour le maïs. Il est particulièrement adapté à la sécheresse en raison d'un ensemble de caractéristiques morphologiques et physiologiques, notamment un système racinaire étendu, la pruine de ses feuilles qui limite ses pertes en eau, et une aptitude à interrompre sa croissance pendant les périodes de sécheresse et à la reprendre une fois le stress disparu. Des précipitations de 500–800 mm également réparties pendant la saison de production conviennent généralement aux cultivars qui mûrissent en 3–4 mois. Le sorgho tolère l'asphyxie racinaire et on peut le faire pousser dans des zones à fortes précipitations. Il tolère des températures de tous niveaux et il est largement cultivé dans les régions tempérées et sous les tropiques jusqu'à 2300 m d'altitude. La température optimale est de 25–31°C, mais des températures aussi faibles que 21°C n'ont pas d'incidence grave sur la croissance et le rendement. Mais si la température nocturne tombe en dessous de 12–15°C au cours de la période de floraison, cela peut entraîner la stérilité. Le sorgho est sensible au gel, mais moins que le maïs, et de légères gelées nocturnes pendant la période de maturation provoquent peu de dégâts. Le sorgho est une plante de jours courts qui réagit de diverses façons à la photopériode. A des latitudes élevées, certains cultivars tropicaux ne fleurissent pas ou ne produisent pas de graines. Aux Etats-Unis, en Australie et en Inde, on a noté l'existence de cultivars moyennement sensibles à quasiment insensibles à la photopériode.

Le sorgho est bien adapté à une culture sur les vertisols lourds que l'on trouve couramment dans les tropiques, où sa tolérance à l'asphyxie racinaire est souvent nécessaire, mais les sols sableux légers lui conviennent tout autant. C'est toutefois sur les limons et les limons sableux que sa culture réussit le mieux. La fourchette de pH du sol supportée par le sorgho est

de 5,0–8,5, et il tolère davantage la salinité que le maïs. Il est adapté aux sols pauvres et peut produire du grain sur des sols où beaucoup d'autres cultures échoueraient.
Dans les plaines inondables des fleuves Sénégal et Niger et dans certaines régions du Tchad et du Cameroun, le sorgho se sème au début de la saison sèche, lorsque l'eau se retire, et la culture survit sur l'humidité résiduelle (c'est une "culture de décrue").

Multiplication et plantation Le sorgho est habituellement cultivé par semis. Le poids de 1000 graines est de 13–40 g. La dormance des graines n'est pas courante chez le sorgho cultivé. Il est préférable que le lit de germination soit fin, mais c'est rarement le cas. Les graines se sèment généralement directement dans un sillon derrière la charrue ; mais on peut semer à la volée et herser pour enfouir les semences dans la terre. L'espacement idéal des plantes dépend du type de sol et de l'humidité disponible. Dans les régions de faibles précipitations, un peuplement de 20 000 pieds/ha est la norme, et dans les régions de fortes précipitations, 60 000 pieds/ha. Pour des conditions favorables, des espacements de 45–75 cm entre les lignes et de 15–25 cm sur la ligne, soit 80 000–180 000 poquets par ha, sont la norme ; pour des conditions sèches ou de moindre fertilité, il faut des lignes espacées de 1 m, ou un semis à la volée à raison de 6 kg de semences par ha. Une profondeur de plantation de 2,5–5 cm est courante, et on peut semer jusqu'à 25 graines par poquet. Il arrive qu'on sème en pépinière et qu'on repique au champ au début de la saison sèche ; c'est le cas des plaines inondables autour du lac Tchad en Afrique (le "sorgho repiqué"). On repique parfois aussi le sorgho à sucre aux Etats-Unis. La multiplication végétative du sorgho est possible en divisant les talles pris sur des pieds en place et en les replantant, une pratique à laquelle les petits paysans ont recours pour combler les vides. Le sorgho peut se récolter en plus d'une fois en culture de repousse, par ex. dans les régions où le régime de précipitations est bimodal. Il se cultive souvent en association avec du maïs, du mil, du niébé, du haricot, de l'arachide et du voandzou ; en Inde, avec du pois cajan également.
Les cultivars tinctoriaux ne sont jamais cultivés en grandes quantités. D'habitude, les paysans en font quelques pieds dans leur champ habituel de sorgho ou autour, ou bien à proximité de leur maison.

Gestion Le sorgho souffre de la concurrence des adventices au cours des premiers stades de sa croissance, et il est recommandé de désherber tôt, lorsqu'il en est au stade du semis. En Afrique tropicale, le désherbage se fait souvent à la houe une ou deux fois, mais il arrive qu'on ait recours à des bineuses tirées par des bêtes de somme ou des tracteurs. Dans les endroits où le chiendent (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) pose problème, il est nécessaire de désherber plus souvent. Le désherbage du sorgho peut se faire en combinant un binage entre les lignes à l'aide d'outils tirés par des bêtes de somme avec un désherbage manuel sur la ligne. La lutte chimique contre les mauvaises herbes est pratiquement inexistante chez les petits paysans. L'éclaircissage peut être effectué en même temps que le désherbage manuel, ou à intervalles réguliers pendant le cycle cultural, surtout là où les plantes issues de l'éclaircissage servent à nourrir le bétail. Il est rare que les paysans en agriculture de subsistance emploient des engrais, mais l'application de fumier de ferme ou encore de cendres est courante. En Afrique du Sud et aux Etats-Unis, des doses élevées d'engrais sont utilisées dans la production du sorgho. En Afrique tropicale, le sorgho est essentiellement une culture pluviale, mais au Soudan elle se pratique sous irrigation. La rotation avec du maïs, du mil, de l'éleusine, du coton et d'autres cultures est pratiquée. En raison de sa tolérance à une faible fertilité du sol, le sorgho est souvent planté tard dans la rotation. Sous certaines conditions, les racines de sorgho en décomposition ont des effets allélopathiques sur les cultures qui le suivent, dont le sorgho lui-même.

Maladies et ravageurs Les pourritures courantes des semences et des semis du sorgho sont provoquées par des champignons transmis par les semences et le sol : *Aspergillus*, *Fusarium*, *Pythium*, *Rhizoctonia* et *Rhizopus* spp. La lutte se fait au moyen de traitements fongicides des semences. L'anthracnose (*Colletotrichum graminicola*) est courante dans les régions chaudes et humides d'Afrique. Le recours à des cultivars résistants et la rotation des cultures font partie des mesures de lutte. Le mildiou (*Peronosclerospora sorghi*) peut provoquer de lourdes pertes de rendement ; le recours à des cultivars résistants et le traitement des semences sont recommandés. Les charbons (*Sporisorium* spp.) sont d'importantes maladies de la panicule. La lutte contre le charbon couvert et le charbon nu se fait à l'aide d'un traitement fongicide des semences ; contre le charbon de la panicule et le charbon allongé, on a

recours à des cultivars résistants et à des pratiques culturales comme la rotation des cultures et l'élimination des panicules infectées. La pourriture du grain est provoquée par un complexe d'agents pathogènes fongiques (surtout *Cochliobolus lunatus* (synonyme : *Curvularia lunata*), *Fusarium* spp. et *Phoma sorghina*) qui infecte le grain au cours de son développement et qui peut entraîner une décoloration et une perte de qualité importantes. Elle est particulièrement grave lors des saisons où les pluies se prolongent pendant toute la maturation du grain et retardent la récolte. Parmi les mesures de lutte, on peut citer l'ajustement de la date de semis pour éviter une maturation par temps humide, et le recours à des cultivars résistants.

Les ravageurs importants du sorgho en Afrique tropicale sont la mouche du sorgho (*Atherigona soccata*) et des foreurs de tiges (en particulier *Busseola fusca*, *Chilo partellus* et *Sesamia calamistis*). Les larves de la mouche du sorgho s'attaquent aux pousses des semis et aux talles, et provoquent les "cœurs morts". Les foreurs de tiges quant à eux font des dégâts à tous les stades de la culture. Les dégâts causés par les mouches du sorgho et les foreurs de tiges peuvent être réduits en procédant à un semis précoce et non échelonné, et un traitement des semences ou du sol aux insecticides. La résistance à la mouche du sorgho est associée avec un rendement faible. Les légionnaires (*Spodoptera* et *Mythimna* spp.) comptent parmi les ravageurs du feuillage ; on les élimine avec des insecticides de contact. Les larves de la cécidomyie du sorgho (*Stenodiplosis sorghicola*, synonyme : *Contarinia sorghicola*) se nourrissent des jeunes grains de la panicule. On peut limiter les dégâts en semant des cultivars précoces et en évitant d'échelonner le semis. Des punaises des panicules (*Eurystylus* et *Calocoris* spp.) piquent les grains en cours de développement, ce qui aboutit à une perte de rendement, une déformation et une décoloration du grain, ainsi qu'une contamination par moisissures. Le sorgho du type guinea est généralement moins touché.

En pratique, les méthodes de lutte contre les maladies et ravageurs, essentiellement préventives ou culturales, font appel entre autres au choix de dates optimales de semis, au traitement des semences et à la rotation des cultures. La précocité du semis revêt une importance toute particulière comme mécanisme permettant d'éviter le pullulement des insectes à des époques où les plantes sont le plus sensibles aux dégâts. On dispose chez les plantes hôtes de niveaux de résistance élevés à la cécidomyie du sorgho, mais seulement de faibles niveaux pour les autres ravageurs. La lutte chimique contre les maladies et les insectes ravageurs est rarement mise en œuvre en Afrique tropicale.

Les oiseaux, en particulier *Quelea quelea*, provoquent d'importantes pertes de rendement. Les mesures de lutte font appel entre autres au choix de dates de semis adaptées, à une récolte au bon moment, aux épouvantails et à la destruction des dortoirs et des sites de nidification des oiseaux. Le sorgho brun n'a pas autant la préférence des oiseaux que le sorgho blanc, exempt de tanin.

Le sorgho est très sensible aux dégâts provoqués par les ravageurs des greniers, les principaux étant le charançon du riz (*Sitophilus oryzae*), le ver de la farine (*Tribolium castaneum*) et l'alucite des céréales (*Sitotroga cerealella*). On peut limiter les dégâts en faisant correctement sécher le grain avant son stockage. Par ailleurs, les cultivars à grains durs sont moins touchés.

Les *Striga* adventices parasites (en particulier *Striga hermonthica* (Del.) Benth., mais aussi *Striga asiatica* (L.) Kuntze, *Striga densiflora* Benth. et *Striga forbesii* Benth.) sont devenues une contrainte de poids dans la culture du sorgho, surtout en Afrique où les infestations graves peuvent entraîner des pertes de grains de 100% et l'abandon des terres. On peut lutter contre les *Striga* au moyen de méthodes culturales comme la rotation avec des cultures pièges ou avec des plantes non sensibles (par ex. l'arachide, le coton ou le tournesol), une élimination rigoureuse des mauvaises herbes avant la floraison et l'emploi d'engrais azotés et d'herbicides. Un petit nombre de cultivars résistants ou tolérants à *Striga* ont été identifiés.

Récolte Le sorgho se récolte d'habitude lorsque la teneur en humidité du grain tombe en dessous de 20% et que le grain a durci. La récolte se fait à la main à l'aide d'un couteau afin de couper les panicules, que l'on stocke temporairement dans des sacs avant de les emporter à l'aire de battage pour les laisser encore sécher jusqu'à ce que le taux d'humidité atteigne 12–13%. Une autre méthode consiste à couper la plante entière ou à l'arracher et à en retirer la panicule plus tard. Une moisson mécanisée est possible, mais nombreux sont les petits paysans qui ne peuvent pas s'offrir les équipements nécessaires. En Afrique du Sud, la récolte à la moissonneuse-batteuse est plus courante.

Pour la production de colorant, on récolte les gaines foliaires lorsque la plante arrive à maturité, environ 4–6 mois après le semis. Elles peuvent être utilisées immédiatement ou séchées et conservées.
Le sorgho fourrager pluvial ne se coupe généralement qu'une seule fois, peu de temps après sa floraison. Pour les sorghos fourragers cultivés dans des conditions plus favorables, généralement sous irrigation et avec des taux élevés d'engrais, on peut les récolter puis les laisser repousser.
Le sorgho à balais se récolte à la main car on ne dispose pas de moissonneuses mécaniques. Le sorgho à sucre se récolte lorsque le grain est au stade laiteux-pâteux, quand la teneur en sucre de la tige est au plus haut.

Rendements Les rendements moyens en sorgho-grain obtenus sur les champs des paysans d'Afrique ne dépassent pas 0,5–0,9 t/ha, parce que le sorgho est souvent cultivé dans des zones marginales avec des pratiques agricoles traditionnelles (peu d'intrants, variétés locales traditionnelles). Mais dans des conditions favorables, le sorgho peut produire jusqu'à 13 t/ha de grain. En Afrique du Sud, avec des pratiques d'agriculture intensive et des cultivars améliorés, le rendement commercial moyen était de 2,3 t/ha en 2001. En Chine, où le sorgho se cultive avec des niveaux d'intrants élevés, le rendement moyen est de 3,6 t/ha et aux Etats-Unis de 3,8 t/ha.
Pour le fourrage, les rendements produits par des cultivars et des hybrides récoltés en une seule fois peuvent atteindre 20 t/ha de matière sèche. Les cultivars et les hybrides à coupes multiples ne donnent généralement des rendements totaux à peine supérieurs mais produisent un fourrage de meilleure qualité. Le sorgho à sucre produit environ 1000 l de sirop par ha aux Etats-Unis. Les rendements moyens du sorgho à balais sont de 300–600 kg/ha, assez pour faire 350–800 balais.

Traitement après récolte Une fois récolté, le grain de sorgho est d'habitude mis à sécher au soleil, souvent sur la panicule. Les panicules, surtout celles que l'on garde pour les semences, peuvent être conservées accrochées au plafond des cuisines au-dessus des feux de cuisson, dont la fumée aide à décourager les attaques d'insectes. Une autre possibilité consiste à battre les panicules une fois séchées et à stocker le grain dans des greniers bâtis au-dessus ou en dessous du sol, de manière à empêcher les attaques d'insectes.
Les préparations culinaires traditionnelles de sorgho sont assez variées. On peut moudre le grain entier pour en faire de la farine ou le décortiquer avant la mouture pour donner un produit à fine granulométrie ou une farine qu'on utilise ensuite dans différents produits alimentaires. Pour préparer la bouillie, on fait bouillir de l'eau et on y ajoute de la farine de sorgho petit à petit jusqu'à obtenir la consistance souhaitée. Il faut remuer régulièrement pour bien mélanger les ingrédients. Une autre forme simple de préparation alimentaire est de faire cuire le grain à l'eau avant ou après décorticage. Pour fabriquer de la bière, on fait germer les grains, on les met à sécher, on les réduit en farine et on les mélange à de l'eau, puis on laisse fermenter dans un endroit chaud pendant quelques jours. Pour confectionner la boisson non fermentée nommée "mageu" au Botswana et en Afrique du Sud, on mélange du malt de sorgho moulu à de l'eau et on le laisse à température ambiante pendant 2–3 jours. Il peut être nécessaire de remuer de temps en temps.
Pour teindre les peaux avec de la teinture de sorgho, la méthode traditionnelle en Afrique de l'Ouest consiste à préparer un extrait aqueux de cendres de bois, de préférence de bois d'*Anogeissus leiocarpa* (DC.) Guill. & Perr., que l'on laisse reposer 3–4 heures. Le principe actif principal de cette lessive est le carbonate de potassium ou de sodium. Les gaines foliaires rouges sont réduites en poudre et placées dans un grand récipient dans lequel on procède à la teinture. De temps en temps, on y ajoute un peu de lessive que l'on dissout à l'eau claire selon les besoins, ce qui donne un liquide rouge cramoisi. La peau tannée, que l'on a au préalable enduite d'huile, est roulée côté tanné vers l'extérieur, puis plongée pendant environ deux minutes dans le bain de teinture, et ensuite essorée et secouée. Un autre procédé consiste à peindre sur la surface tannée avec les doigts ou au pinceau. Puis la peau est rincée dans de l'eau froide acidifiée avec du jus de lime ou de la pâte de tamarin. Une fois la peau séchée, on achève le processus en la frottant avec une pierre lisse sur un bloc de bois. On estime que 1,25 l de bain de teinture suffit pour environ 6 peaux de taille moyenne. Dans une autre recette, on utilise une trentaine de gaines foliaires de sorgho, environ une demi-cuillerée de soude, une poignée de gousses de "sant" (*Acacia nilotica* (L.) Willd. ex Delile) ou 2 poignées de copeaux d'écorce de palétuviers, 2 cuillerées d'huile de palme et 1,5 l d'eau. On mélange tous ces ingrédients, on les fait bouillir, on y

ajoute le jus de 5 ou 6 limes, puis on laisse mijoter le liquide pendant 2 heures. Il est ensuite prêt à être appliqué sur la peau, à la brosse ou en frottant.

Afin d'obtenir une teinture de qualité élevée et constante, une technique d'extraction en laboratoire a été conçue au Burkina Faso. Les gaines foliaires de sorgho sont broyées en fines particules auxquelles on ajoute un solvant dans un support acide ou alcalin (les deux donnent des résultats similaires) et cela produit un liquide rouge. Par addition d'acide, le colorant est précipité puis centrifugé. Le produit final est une fine poudre rouge bordeaux dont la concentration en apigéninidine est de 50–60%, prête à l'emploi. De l'apigéninidine pure peut être obtenue en faisant subir à cette poudre une transformation supplémentaire.

Le sorgho fourrager peut être donné à manger vert au bétail, ou bien on peut le stocker de multiples manières pour l'utiliser plus tard. Le fourrage est souvent séché et mis en meules, ou il peut être ensilé. Les chaumes qui subsistent après la récolte du grain sont souvent pâturés par les animaux.

Ressources génétiques Une collection très importante de ressources génétiques de sorgho est entretenue et distribuée aux chercheurs qui s'y intéressent par l'Institut international de recherche sur les plantes cultivées des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) de Patancheru (Inde). C'est une collection qui compte plus de 36 000 entrées de toutes les principales régions de culture de sorgho du monde (90 pays). De vastes collections de ressources génétiques de sorgho sont également détenues aux Etats-Unis (Southern Regional Plant Introduction Station de Griffin, en Géorgie, 30 100 entrées ; National Seed Storage Laboratory de Fort Collins, dans le Colorado, 10 500 entrées) ainsi qu'en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), à Pékin, 15 300 entrées). En Afrique tropicale, de grandes collections de ressources génétiques sont détenues au Zimbabwe (SADC/ICRISAT Sorghum and Millet Improvement Program, Matopos, 12 340 entrées), en Ethiopie (Institute of Biodiversity Conservation (IBC), à Addis Abeba, 7260 entrées), au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, de Kikuyu, 3410 entrées) et en Ouganda (Serere Agricultural and Animal Production Research Institute, à Serere, 2635 entrées).

Sélection Les principaux objectifs de sélection du sorgho portent sur des rendements élevés en grain, sur le grain blanc destiné à la consommation humaine et l'amélioration de sa valeur nutritionnelle et de sa qualité de transformation, et sur le grain rouge ou brun destiné à l'alimentation animale et à la brasserie. Dans de nombreux pays, on met l'accent sur la production de cultivars qui associent de gros rendements aussi bien en grain qu'en chaumes, étant donné l'importance des déchets pour l'alimentation animale. L'incorporation d'une résistance aux maladies et aux ravageurs les plus importants qui limitent les rendements et la tolérance aux stress abiotiques sont également de première importance. Des résistances aux pourritures du grain et à d'autres maladies ainsi qu'aux insectes ravageurs comme les punaises des panicules et la cécidomyie du sorgho ont été identifiées. Des cultivars de sorgho améliorés à rendement élevé sont disponibles dans la plupart des principaux pays producteurs. En font partie des cultivars et des hybrides produits à l'aide de la stérilité mâle cytoplasmique. Comparés aux variétés locales traditionnelles, ils sont assez indifférents à la photopériode et ils sont moins robustes, moins grands, et la qualité de leur grain est moins bonne ; en revanche leur potentiel de rendement est plus élevé. Des cultivars résistants à *Striga* ont été mis sur le marché en Afrique et en Inde, comme 'Framida' au Ghana et au Burkina Faso. Des cultivars résistants à la pourriture du grain sont également commercialisés. Des cultivars spéciaux offrant une production élevée de biomasse et une bonne qualité fourragère font l'objet de sélection pour l'alimentation animale. Les cultivars modernes de sorgho prédominent dans les Amériques, en Chine et en Australie, mais en Afrique ils occupent probablement moins de 10% des superficies cultivées en sorgho. En Inde, près de 50% de la superficie cultivée en sorgho est occupée par des cultivars modernes et 50% par des variétés locales traditionnelles.

Le génome du sorgho est relativement petit (environ 760 Mpb) comparé à celui du maïs (environ 2500 Mpb), et l'établissement de la carte physique de ce génome est en cours. Plusieurs cartes de liaisons génétiques ont été mises au point, principalement sur la base de marqueurs RFLP. Différents gènes ont été identifiés, comme par ex. les gènes associés à la résistance au charbon des panicules, aux taches foliaires et à l'égrenage. De nombreux QTL ont été cartographiés, ceux associés avec la hauteur de la plante, son tallage, la taille des grains, ainsi que la résistance à la sécheresse et la résistance à la rouille. La régénéra-

tion in vitro de la plante a été réalisée à partir de cals dérivés de la base de jeunes feuilles, d'apex de pousses, d'inflorescences immatures et d'embryons immatures. On a mis au point des protocoles destinés à produire des plantes transformées de sorgho de façon stable à l'aide du bombardement de microprojectiles ou d'une transformation par *Agrobacterium*, mais ce sont des techniques peu efficaces, en particulier la première citée.

Perspectives Le sorgho est une plante cultivée robuste, tolérante à la sécheresse, dotée d'un fort potentiel de rendement, qui joue un rôle important en Afrique tropicale et dans d'autres parties du monde, surtout comme ressource alimentaire pour les hommes et le bétail, mais aussi pour toutes autres sortes d'usages, y compris comme source de colorant. Le sorgho a perdu une partie des superficies sur lesquelles il était traditionnellement cultivé au profit du maïs, dont les rendements sont meilleurs dans des environnements plus favorables, qui est moins susceptible d'être attaqué par les oiseaux et dont la transformation est plus facile. Il faut toutefois s'attendre à ce que le sorgho reste une culture vivrière importante pour la sécurité alimentaire dans les environnements moins favorables de l'Afrique tropicale. Les gros problèmes de la culture du sorgho que la recherche et les sélectionneurs doivent résoudre sont les importantes pertes de rendement provoquées par les adventices parasites (en particulier *Striga hermonthica*), l'anthracnose, le mildiou, la pourriture du grain, la cécidomyie du sorgho et les foreurs de tiges. Les cultivars améliorés de sorgho ne sont pas largement cultivés en Afrique tropicale et l'amélioration des systèmes d'approvisionnement en semences doit aller de pair avec les programmes d'amélioration du sorgho dans cette région. Il est probable que la demande en sorgho pour des usages non traditionnels augmente. En particulier, l'utilisation du sorgho-grain dans l'alimentation animale, déjà bien établie dans de nombreux pays industrialisés, est susceptible de se banaliser dans les pays en développement. Cependant, le sorgho fait face à une forte concurrence de la part du maïs sur le marché international des céréales pour l'alimentation animale. De même, comme l'augmentation de la prospérité débouche sur une augmentation de la demande en viande et en produits laitiers, l'utilisation du sorgho comme plante fourragère dans les systèmes d'agriculture intensive de nombreuses régions tropicales est susceptible de s'étendre. L'utilisation du sorgho comme matière première destinée à des transformations industrielles va aussi augmenter. La recherche doit porter ses efforts sur des innovations susceptibles de réduire les coûts de production du sorgho. Elle doit notamment étudier comment accroître les niveaux de rendement des cultivars disponibles, et améliorer les pratiques agronomiques. Elle doit aussi mettre l'accent sur le renforcement de la résistance aux principaux stress biotiques et abiotiques et sur la production de cultivars plus riches en protéines de grande qualité.
Le colorant de sorgho pourrait bénéficier de la tendance à recourir aux colorants naturels dans l'alimentation et les produits cosmétiques. L'accroissement des coûts de récolte du sorgho à balais en Amérique du Nord et en Europe peut offrir des perspectives pour développer cette culture en Afrique.

Références principales Chantereau et al., 1997; de Vries & Toenniessen, 2001; de Wet, 1978; Doggett, 1988; Murty & Renard, 2001; Rooney & Serna-Saldivar, 2000; Smith & Frederiksen, 2000; Stenhouse & Tippayaruk, 1996; Stenhouse et al., 1997; Taylor, 2003.

Autres références Balole, 2001; Bellemare, 1993; Burkill, 1994; Byth (Editor), 1993; Dalziel, 1926; Gao et al., 2005; Harlan & de Wet, 1972; Kouda-Bonafos et al., 1994; Ministry of Agriculture and Rural Development, 2002; National Research Council, 1996; Neuwinger, 2000; Ogwumike, 2002; Pale et al., 1997; Phillips, 1995; Reddy, Ramesh & Reddy, 2004; Rey et al., 1993; Sanders, Ahmed & Nell, 2000; Seshu Reddy, 1991; USDA, 2004; Westphal, 1981.

Sources de l'illustration Stenhouse & Tippayaruk, 1996.

Auteurs T.V. Balole & G.M. Legwaila
Basé sur PROSEA 10 : Cereals.

SPOROBOLUS FIMBRIATUS (Trin.) Nees

Protologue Fl. Afr. austral. ill. : 156 (1841).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n$ = 18, 36, 54
Noms vernaculaires Dropseed, perennial dropseed grass, fringed dropseed (En).

Origine et répartition géographique *Sporobolus fimbriatus* est présent à l'état sauvage et parfois cultivé, depuis le Soudan et la Somalie jusqu'en Afrique du Sud. Il a été introduit ailleurs, par ex. aux Etats-Unis.

Usages En Afrique australe, les grains de *Sporobolus fimbriatus* sont consommés pen-

dant les périodes de disette ; elles peuvent être broyées pour préparer de la bouillie. *Sporobolus fimbriatus* constitue une bonne herbe de pâturage et les animaux domestiques tels que bovins et ovins la broutent. Elle était autrefois plantée pour stabiliser le sol.

Propriétés En Afrique du Sud, la teneur en protéines brutes de *Sporobolus fimbriatus* va de 14% au printemps à 10% en automne, et leur digestibilité est de 70% au printemps à 63% en automne. La plante peut contenir de l'acide cyanhydrique, mais l'empoisonnement est rarement un problème.

Botanique Graminée vivace, en touffe, atteignant 1,7 m de haut, à court rhizome ; tige (chaume) de 2–3 mm de diamètre à la base, érigée, habituellement non ramifiée. Feuilles basales pour la plupart, simples ; gaine basale papyracée, glabre ou poilue sur les bords, cylindrique à fortement comprimée et carénée, persistante ; ligule ciliée ; limbe linéaire, de 10–30(–60) cm × 2–7,5(–14) mm, atténué en un apex filiforme, plat, replié ou involuté, à nervure médiane blanche proéminente sur le dessus, rugueux sur les faces. Inflorescence : panicule de 15–65 cm de long, linéaire à lancéolée, rameaux non verticillés, de 2–12 cm de long, lisses ou un peu rugueux, à épillets placés sur les rameaux secondaires ou de courts rameaux tertiaires. Epillet de 1,5–2,5 mm de long, vert foncé, à 1 fleur ; glume inférieure étroitement oblongue à lancéolée, de 0,5–1,5 mm de long, sans nervures, glume supérieure étroitement ovale, de 1,5–2 mm de long, à 1 nervure ; lemme étroitement ovale, aussi longue que l'épillet ou presque, à 1 nervure ; paléole similaire à la lemme, mais à 2 nervures ; étamines 3, d'environ 1 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) obovoïde, d'environ 0,5 mm de long, tronqué, à section carrée.

Le genre *Sporobolus*, qui comprend environ 160 espèces, est présent dans les régions tropicales et subtropicales, et on le trouve jusqu'aux régions tempérées chaudes. Il peut ressembler à *Eragrostis*, qui en diffère par ses épillets à 2 ou nombreuses fleurs (1 fleur chez *Sporobolus*) et sa lemme à 3 nervures (1 nervure chez *Sporobolus*). Les espèces du genre *Sporobolus* sont souvent difficiles à identifier parce qu'elles présentent tellement de formes intermédiaires que leurs limites ne sont souvent pas nettement définies. C'est également le cas pour l'espèce variable *Sporobolus fimbriatus*. *Sporobolus fimbriatus* a une photosynthèse en C_4.

Ecologie *Sporobolus fimbriatus* se trouve couramment jusqu'à 2000 m d'altitude dans les savanes boisées et herbeuses, souvent dans des cuvettes peu profondes remplies d'eau de pluie, parfois sur des versants rocheux, et également dans des milieux perturbés ou ombragés.

Gestion Le grain de *Sporobolus fimbriatus* se récolte surtout dans la nature. Dans des essais en Afrique du Sud, des pâturages cultivés et non pâturés de *Sporobolus fimbriatus* ont produit 3,3 t de matière sèche à l'ha par an, et des pâturages pâturés 2,7 t de matière sèche à l'ha par an.

Ressources génétiques et sélection Une collection de 47 entrées de *Sporobolus fimbriatus* (46 provenant d'Afrique du Sud et 1 du Botswana) est détenue aux Etats-Unis (à l'USDA-ARS Western Regional Plant Introduction Station, à Pullman, Washington). En Afrique, des collections de ressources génétiques sont détenues au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu, 21 entrées), en Afrique du Sud (Grassland Research Centre, Department of Agricultural Development, à Pretoria, 4 entrées) et en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), à Addis Abeba, 1 entrée). Si l'on considère sa vaste répartition et son caractère commun, *Sporobolus fimbriatus* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives Le rôle que joue aujourd'hui *Sporobolus fimbriatus* semble limité à celui de ressource alimentaire pendant les périodes de disette, et de fourrage. Il y a peu de chances pour qu'il gagne en importance à l'avenir.

Références principales Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1995; Cope, 1999; Gibbs Russell et al., 1990; Phillips, 1995.

Autres références Ben-Shahar, 1991; du Pisani & Knight, 1988; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Klaassen & Craven, 2003; Myre, 1972; Sánchez-Monge y Parellada, 1981; Sharma & Sharma, 1979; van der Westhuizen et al., 2001; van Wyk & Gericke, 2000; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Auteurs M. Brink

SPOROBOLUS PANICOIDES A.Rich.

Protologue Tent. fl. abyss. 2: 399 (1850).

Famille Poaceae (Gramineae)

Noms vernaculaires Famine grass (En).

Origine et répartition géographique *Sporobolus panicoides* est présent en Afrique orientale et australe, depuis le Soudan et

l'Ethiopie jusqu'à l'Afrique du Sud, ainsi qu'en Arabie tropicale.

Usages Les grains de *Sporobolus panicoides* sont consommés pendant les périodes de disette.

Botanique Graminée annuelle élancée, atteignant 1 m de haut ; tige (chaume) érigée, solitaire ou en touffe. Feuilles simples ; gaine papyracée, glabre, mais poilue à proximité des bords, légèrement comprimée ; limbe linéaire, de 5–30 cm × 2–6 mm, atténué à l'apex, plat ou involuté, vert pâle, glabre ou légèrement poilu au-dessus. Inflorescence : panicule étroitement ellipsoïde de 4–22 cm de long, rameaux disposés en une succession de verticilles, à 1–4 épillets par rameau. Epillet de 2–3,5 mm de long, pâle teinté de violet en haut, à 1 fleur ; glume inférieure de 1–1,5 mm de long, rarement minuscule, étroitement ovale à lancéolée, obtuse à aiguë à l'apex, sans nervures, glabre ; glume supérieure aussi longue que l'épillet, elliptique-oblongue à ovale, aiguë à l'apex, à 1 nervure, glabre ; lemme un peu plus courte que l'épillet, elliptique-ovale, à 1 nervure ; paléole binervée ; étamines 3, de 1–1,5 mm de long ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain), de 1–2 mm de diamètre, oblong-globuleux, brun vif ou orange.

Le genre *Sporobolus*, qui comprend environ 160 espèces, est présent dans les régions tropicales et subtropicales, et on le trouve jusqu'aux régions à climat tempéré chaud. Il ressemble à *Eragrostis*, qui en diffère par ses épillets à 2 ou nombreuses fleurs (1 fleur chez *Sporobolus*) et sa lemme à 3 nervures (1 nervure chez *Sporobolus*). Les espèces de *Sporobolus* sont souvent difficiles à identifier parce qu'elles présentent tellement de formes intermédiaires que leurs limites ne sont souvent pas nettement définies. Toutefois, *Sporobolus panicoides* se reconnaît facilement à son grain relativement gros et de couleur vive, l'espacement de ses épillets sur les rameaux de la panicule, et la stérilité partielle ou totale du verticille de rameaux à la base de la panicule.

Ecologie *Sporobolus panicoides* est commun par endroits dans les lieux ensoleillés ou légèrement ombragés, jusqu'à 2100 m d'altitude, dans les savanes boisées sur sols sableux, sur sandveld granitique et sur les flancs de colline rocailleux, souvent aux bords des routes ou dans d'autres milieux perturbés.

Gestion Les grains de *Sporobolus panicoides* ne se récoltent que dans la nature.

Ressources génétiques et sélection Une seule entrée de *Sporobolus panicoides* est conservée au National Genebank of Kenya, au Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu. Très répandu et commun par endroits, *Sporobolus panicoides* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives Le rôle que joue aujourd'hui *Sporobolus panicoides* est très limité, car c'est une ressource alimentaire locale pendant les périodes de disette. Il est peu probable qu'il prenne davantage d'importance dans l'avenir.

Références principales Clayton, Phillips & Renvoize, 1974; Cope, 1995; Cope, 1999; Gibbs Russell et al., 1990; Phillips, 1995.

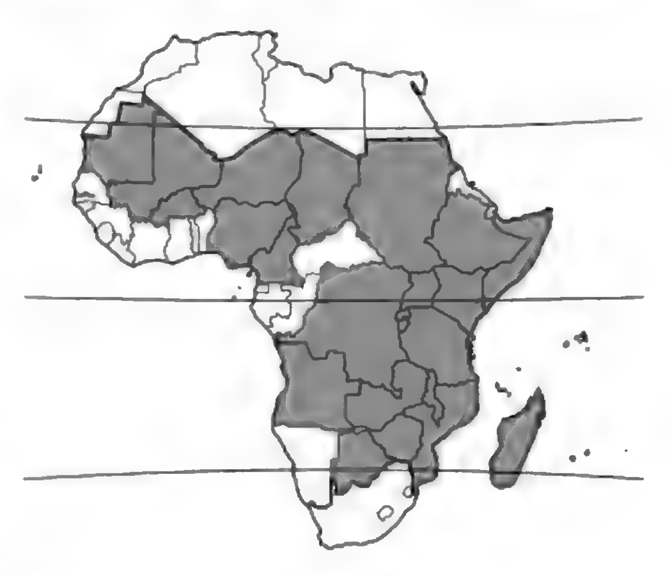
Autres références Fröman & Persson, 1974; IPGRI, undated; Klaassen & Craven, 2003; Mackie, 1976; Shava & Mapaura, 2002.

Auteurs M. Brink

TRITICUM AESTIVUM L.

Protologue Sp. pl. 1: 85 (1753).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 42$
Synonymes *Triticum vulgare* Vill. (1787).
Noms vernaculaires Blé tendre, blé, froment (Fr). Bread wheat, common wheat, wheat (En). Trigo mole, trigo (Po). Ngano (Sw).

Origine et répartition géographique Le blé tendre a pris naissance dans le couloir qui s'étend de l'Arménie, en Transcaucasie, jusqu'aux zones côtières du sud-ouest de la mer Caspienne en Iran. C'est l'hybridation d'une espèce sauvage d'*Aegilops* (*Aegilops tauschii* Coss., de génome D) avec l'amidonnier, un type ancien de blé cultivé appartenant à *Triticum turgidum* L., qui a donné naissance aux blés hexaploïdes, mais on ignore si le premier à



Triticum aestivum – planté

apparaître a été le blé tendre ou l'épeautre (*Triticum spelta* L.). Les restes archéologiques les plus anciens d'épeautre proviennent du sud de la Caspienne vers 5000 avant J.-C. Les restes de blé tendre sont difficiles à distinguer de ceux du blé dur (*Triticum turgidum*), mais on pense que ceux trouvés dans le Caucase, dans le plateau anatolien (Turquie), en Europe centrale et en Asie centrale à partir du cinquième millénaire sont bien du blé tendre. Le génome D a en effet apporté au blé tendre et à l'épeautre une adaptation aux hivers froids et aux étés humides, ce qui leur a permis de conquérir l'Eurasie tempérée, alors que la Méditerranée restait acquise à l'amidonnier et au blé dur. Vers le troisième millénaire avant J.-C., le blé tendre avait gagné la Chine. En 1529, les Espagnols l'introduisirent dans le Nouveau Monde. Son introduction en Afrique tropicale est le fait de négociants arabes, de missionnaires et de colons. L'époque à laquelle il est parvenu en Ethiopie reste incertaine. Du nord de l'Afrique, il fut apporté en Afrique de l'Ouest, où il était déjà connu vers 1000 après J.-C. Ce n'est qu'au début du XXe siècle qu'il a été introduit au Kenya et à l'est de la R.D. du Congo.

De nos jours, le blé tendre est cultivé dans presque toutes les régions du monde. En Afrique tropicale, il est surtout produit au Nigeria, au Soudan, en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe.

Usages La farine de blé tendre entre dans la fabrication de nombreux produits, notamment du pain (levé ou non ; cuit au four, à la vapeur ou en friture), mais aussi des pâtisseries, des biscuits sucrés et salés, des bretzels, des pâtes, de l'amidon, des céréales pour le petit déjeuner, des aliments pour bébés et des agents épaississants. Il s'emploie également comme ingrédient de brasserie dans certaines boissons (bière blanche). L'usage de prédilection du blé, presque partout dans le monde, reste la fabrication de pain levé. Une augmentation de la consommation de pain va souvent de pair avec l'urbanisation et l'élévation du niveau de vie. L'utilisation du blé tendre s'est par ailleurs adaptée aux usages culinaires locaux. C'est le cas de l'Ethiopie, où la farine sert à la confection de l' "injera" (grande crêpe utilisée comme du pain), de bouillies et de soupes. Les grains sont mangés comme amuse-gueule, et lors des fêtes, ils peuvent prendre plusieurs formes : le "nifro" (grains entiers cuits à l'eau, et souvent mélangés à des légumes secs), le "kollo" (grains grillés) et le "dabo-kollo" (une pâte de grains broyés assaisonnée, façonnée et frite).

Les usages industriels des produits dérivés du blé sont centrés sur la fabrication de colles, d'alcool, d'huile et de gluten. Les sous-produits de minoterie, en particulier le son, servent presque intégralement à l'alimentation du bétail, de la volaille ou des crevettes. Le germe de blé (qui vient de l'embryon) se vend comme complément alimentaire pour l'homme. La paille sert aussi bien d'aliment pour les ruminants qu'à leur litière, à confectionner des toits de chaume, des objets de vannerie, du papier journal, du carton, des matériaux d'emballage ; elle s'emploie aussi comme combustible et sert de substrat en culture de champignons. Dans de nombreuses régions arides du monde, on la hache et on la mélange à l'argile pour produire un matériau de construction.

Production et commerce international Selon des estimations de la FAO, en 1999–2003, la production mondiale moyenne de blé en grain (blé tendre et blé dur confondus) s'est élevée à 576 millions de t/an sur 209 millions d'ha. Au niveau mondial, le blé tendre représente plus de 90% des superficies cultivées en blé. Les principaux pays producteurs sont la Chine (96,8 millions de t/an sur 25,2 millions d'ha), l'Inde (71,0 millions de t/an sur 26,4 millions d'ha), les Etats-Unis (56,9 millions de t/an sur 20,6 millions d'ha), la Russie (39,4 millions de t/an sur 21,7 millions d'ha) et la France (35,1 millions de t/an sur 5,0 millions d'ha). La production de blé en Afrique tropicale s'élevait en 1999–2003 à 2,5 millions de t/an sur 1,6 million d'ha, les principaux pays producteurs étant l'Ethiopie (1,4 million de t/an sur 1,1 million d'ha), le Kenya (272 000 t/an sur 137 000 ha), le Soudan (254 000 t/an sur 124 000 ha), le Zimbabwe (237 000 t/an sur 43 000 ha), la Zambie (87 000 t/an sur 13 000 ha), la Tanzanie (82 000 t/an sur 60 000 ha) et le Nigeria (75 000 t/an sur 53 000 ha). En Ethiopie, près de 50% de la production de blé est constituée de blé tendre, les 50% restants de blé dur. De 1961–1965 à 1999–2003, la production mondiale de blé est passée de 248 à 576 millions de t/an, tandis que les superficies récoltées demeuraient stables, aux alentours de 210 millions d'ha. Au cours de la même période, la production annuelle de blé en Afrique tropicale augmentait de 960 000 à 2,5 millions de t/an, et la superficie de récolte de 1,2 à 1,6 million d'ha.

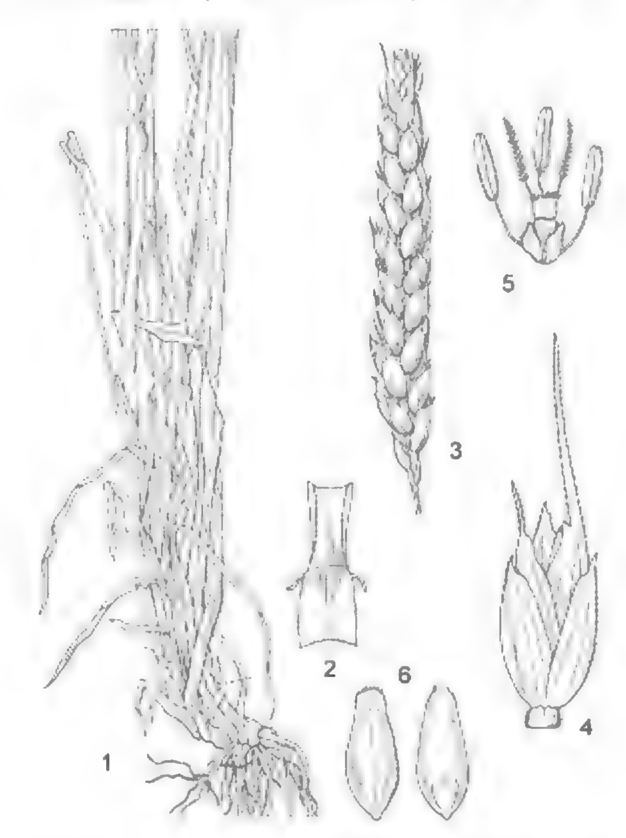
La moyenne des exportations mondiales de blé se montait à 115 millions de t/an en 1998–2002, les principaux exportateurs étant les Etats-Unis (26,7 millions de t/an), le Canada

(16,5 millions de t/an), l'Australie (15,9 millions de t/an), la France (15,9 millions de t/an) et l'Argentine (10,0 millions de t/an). Les principaux importateurs sont l'Italie, le Brésil, le Japon et l'Iran, chacun en important plus de 5 millions de t/an. Tous les pays d'Afrique tropicale sont des importateurs nets. Le principal importateur d'Afrique tropicale est le Nigeria (1,9 million de t/an en 1998–2002), suivi par l'Ethiopie (770 000 t/an), le Soudan (710 000 t/an) et le Kenya (570 000 t/an). Dans certains pays, la part de l'aide alimentaire en importations de blé représente parfois jusqu'à 80%.

Propriétés Le grain de blé est composé de 7–8% d'enveloppe, 90% d'albumen et 2–3% d'embryon. L'embryon contient surtout de l'huile et des protéines, et peu d'amidon. L'albumen est amylacé et entouré d'une couche d'aleurone riche en protéines. Lors de la mouture du grain, les couches externes et l'embryon sont séparées de l'albumen. L'albumen réduit en poudre devient de la farine, les autres parties quant à elles formant le son. Tant la friabilité que la vitrosité de l'albumen varient : le blé tendre à albumen résistant (non friable) riche en gluten tend à être vitreux, tandis que le grain à albumen friable pauvre en gluten a tendance à être opaque. Le blé le plus indiqué pour la panification est le blé résistant ou blé de force, tandis que le blé friable convient davantage aux biscuits, aux gâteaux et aux pâtisseries. La couleur de la farine va du blanc au jaune pâle.

Le grain de blé tendre (type de printemps rouge de force) contient, par 100 g de partie comestible : eau 12,8 g, énergie 1377 kJ (329 kcal), protéines 15,4 g, lipides 1,9 g, glucides 68,0 g, fibres alimentaires 12,2 g, Ca 25 mg, Mg 124 mg, P 332 mg, Fe 3,6 mg, Zn 2,8 mg, vitamine A 9 UI, thiamine 0,50 mg, riboflavine 0,11 mg, niacine 5,7 mg, vitamine B_6 0,34 mg, folates 43 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 195 mg, lysine 404 mg, méthionine 230 mg, phénylalanine 724 mg, thréonine 433 mg, valine 679 mg, leucine 1038 mg et isoleucine 541 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 727 mg, acide palmitique 283 mg et acide oléique 236 mg. Le grain de blé tendre blanc friable contient, par 100 g de partie comestible : eau 10,4 g, énergie 1423 kJ (340 kcal), protéines 10,7 g, lipides 2,0 g, glucides 75,4 g, fibres alimentaires 12,7 g, Ca 34 mg, Mg 90 mg, P 402 mg, Fe 5,4 mg, Zn 3,5 mg, vitamine A 9 UI, thiamine 0,41 mg, riboflavine 0,11 mg, niacine 4,8 mg, vitamine B_6 0,38 mg, folates 41 µg et acide ascorbique 0 mg (USDA, 2005). Le grain de blé tendre est déficitaire en certains acides aminés, la lysine et la thréonine, et dans une certaine mesure en isoleucine et valine. C'est une bonne source de vitamines du groupe B et de minéraux. Le grain de blé possède un complexe unique de protéines de réserve viscoélastiques et insolubles dans l'eau connues sous le nom de gluten, qui constitue 78–85% des protéines totales de l'albumen. Le gluten se compose principalement de gluténines (polymériques) et de gliadines (monomériques). Ce sont les gluténines qui confèrent à la pâte son élasticité et sa ténacité, les gliadines quant à elles contribuant surtout à la viscosité et à l'extensibilité du gluten. La farine de blé contient des quantités à peu près égales de gluténines et de gliadines, et un changement de proportions peut affecter ses propriétés viscoélastiques.

Description Graminée annuelle, en touffe, atteignant 150 cm de haut, à 2–5(–40) talles ; tige (chaume) cylindrique, lisse, creuse sauf aux nœuds. Feuilles alternes distiques, simples et entières ; gaine arrondie, auriculée ; ligule membraneuse ; limbe linéaire, de 15–40 cm ×



Triticum aestivum – *1, partie inférieure de la plante ; 2, ligule et auricules ; 3, inflorescence ; 4, épillet ; 5, fleur (lemme et paléole enlevées) ; 6, grains.*
Source: PROSEA

1–2 cm, à nervures parallèles, plat, glabre ou pubescent. Inflorescence : épi terminal distique de 4–18 cm de long, à épillets sessiles, solitaires sur un rachis en zigzag. Epillet de 10–15 mm de long, comprimé latéralement, à 3–9 fleurs bisexuées dont les 1–2 supérieures sont généralement rudimentaires, mais parfois 1 seule fleur bisexuée ; glumes presque égales, oblongues, plus courtes que l'épillet, finement coriaces, carénées vers l'extrémité, apiculées à aristées ; lemme à dos arrondi mais caréné vers l'extrémité, coriace, aristée ou obtuse ; paléole 2-carénée, carènes poilues ; lodicules 2, ciliées ; étamines 3 ; ovaire supère, se terminant par un petit appendice charnu et poilu et 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces, brun rougeâtre à jaune ou blanc.

Autres données botaniques Le genre *Triticum* est un exemple classique d'allopolyploïdie, car il est constitué d'espèces diploïdes ($2n = 14$), tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$). La sélection aux niveaux diploïde et tétraploïde s'est opérée à partir des espèces sauvages à grain vêtu et à rachis fragile pour arriver aux formes à grain nu et à rachis solide ; mais les blés hexaploïdes sont inconnus à l'état sauvage, et sont apparus en culture. La classification du genre *Triticum* et des autres genres apparentés au sein de la tribu *Triticeae* a fait l'objet de nombreuses discussions. La polyploïdie et la différenciation biphylétique des génomes (génome B par rapport à G) sont des mécanismes qui isolent et délimitent bien les espèces. Selon cette approche, *Triticum* ne comprend que 5–6 espèces, dont font partie le diploïde *Triticum monococcum* L. (l'engrain ou petit épeautre, cultivé sporadiquement dans le sud de l'Europe et en Asie occidentale), le tétraploïde *Triticum turgidum* L. et l'hexaploïde *Triticum aestivum* L. (qui comprend tous les hexaploïdes cultivés). On sépare parfois l'épeautre (*Triticum spelta* L.) de *Triticum aestivum* ; c'est un hexaploïde à grain vêtu, qui n'a que 2–3 fleurs par épillet, et qui est cultivé en petites quantités en Europe, en Afrique et sur les plateaux de l'Iran occidental. L'épeautre peut se cultiver dans des conditions extrêmes, n'exige pas de sols fertiles, résiste relativement bien aux maladies, a un bon goût et de bonnes qualités alimentaires et boulangères. Avant 1850, c'était un blé très important en Europe ; il a connu un déclin par la suite, en particulier parce qu'il demande à être décortiqué avant la mouture, mais il est aujourd'hui de plus en plus apprécié en agriculture biologique.

Sur le plan commercial, on classe le blé en catégories distinctes selon la friabilité du grain ("soft" ou friable, "medium-hard" ou peu friable, "hard" ou résistant) et sa couleur (rouge, blanc, ou ambré). Suivant le cycle cultural, on distingue deux sous-catégories, blé d'hiver et blé de printemps, mais il existe des types alternatifs. Ces sous-catégories peuvent à leur tour être divisées en diverses qualités, qui servent généralement à fixer les prix, sur des critères tels que l'état sanitaire du grain (effets de la pluie, de la chaleur, du gel, dégâts causés par les insectes et les moisissures), la propreté, le taux de protéines et l'activité α-amylase. En Afrique tropicale, on cultive surtout des blés de printemps.

Des hybrides de blés (tétraploïdes ou hexaploïdes) et de seigle, appelés triticale (×*Triticosecale*) ont été créés, qui présentent un mélange des caractéristiques de leurs parents, combinant la rusticité du seigle avec la forte productivité et la qualité du blé. Le triticale n'est pour le moment cultivé que très localement en Afrique tropicale, par ex. en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie et à Madagascar, ainsi qu'au nord de l'Afrique et en Afrique du Sud. Cette nouvelle plante alimentaire n'a pas été à la hauteur des attentes, mais elle est de plus en plus appréciée comme plante fourragère.

Croissance et développement La germination du blé a lieu à des températures comprises entre 4–37°C, la fourchette optimale se situant entre 12–25°C. La radicelle apparaît en premier, suivie par le coléoptile 4–6 jours après la germination. Les racines primaires peuvent demeurer fonctionnelles à vie, à moins d'être détruites par une maladie ou blessées par une machine, mais elles ne constituent qu'une petite partie de l'ensemble du système racinaire. Du coléoptile émerge la première vraie feuille de la plantule. Les racines secondaires commencent à se développer environ deux semaines après la levée de la plantule. Elles sortent des nœuds de la base pour former le système racinaire permanent, qui s'étale et peut pénétrer jusqu'à 2 m de profondeur, la norme toutefois étant d'un mètre au plus. La production de feuilles et de talles augmente rapidement peu après la levée. La durée du stade végétatif est variable, entre 20–150 jours, en fonction de la température et de la réponse du cultivar à la vernalisation et à la longueur du jour. Pour permettre l'initiation florale, les types de printemps ont généralement besoin de températures situées entre 7°C et 18°C pendant 5–15 jours, tandis que les types d'hiver réclament

des températures comprises entre 0°C et 7°C pendant 30–60 jours. La floraison démarre dans le tiers médian de l'épi et se poursuit vers les parties basales et apicales en 3–5 jours. Toutes les talles portant des épis fleurissent presque au même moment. Le blé est habituellement autogame ; il a un taux de pollinisation croisée de 1–4%. Le pollen se répand largement dans la fleur. Les stigmates demeurent réceptifs pendant 4–13 jours. Mais le pollen n'est viable que pendant 30 minutes au plus. Les grains situés au centre de l'épi et ceux formés dans les fleurs proximales tendent à être plus gros que les autres. La maturité physiologique est atteinte lorsque la feuille étendard (la feuille la plus haute) et l'épi virent au jaune et que la teneur en humidité du grain totalement formé est tombée à 25–35%. Le cycle cultural complet du blé tendre varie de 50–200 jours en Afrique tropicale.

Ecologie S'il est possible de cultiver le blé tendre depuis le cercle arctique jusqu'à proximité de l'équateur, les latitudes où il pousse le mieux se situent entre 30–60°N et 27–40°S. La fourchette optimale de températures pour sa croissance est de 10–24°C, avec des minima de 3–4°C et des maxima de 30–32°C. Une température moyenne d'environ 18°C est optimale en termes de rendement. Des températures supérieures à 35°C interrompent la photosynthèse et la croissance, et à 40°C la chaleur tue la plante. Le blé ne pousse pas très bien sous des climats très chauds où l'humidité relative est élevée, et dans les régions tropicales sa culture est préférable en altitude (1200–3000 m) ou au cours des mois les moins chauds de l'année. Pour produire une bonne récolte, le blé tendre exige au moins 250 mm d'eau pendant la saison de croissance ; on peut le cultiver dans des régions recevant entre 250–750 mm de pluie par an. La sensibilité à la longueur du jour diffère d'un génotype à l'autre, mais la plupart sont des plantes de jours longs à réaction quantitative ; la floraison est plus précoce en jours longs, mais aucune longueur de jour spécifique n'est requise pour l'initiation florale.
Les sols qui conviennent le mieux à la production de blé tendre sont ceux qui sont bien aérés, bien drainés, profonds et comportant au moins 0,5% de matière organique. Le pH optimal du sol se situe entre 5,5 et 7,5. Le blé est sensible à la salinité du sol.

Multiplication et plantation Le blé tendre se reproduit par graines. Le poids de 1000 graines est de 30–50 g. Bien qu'il soit recommandé d'employer des semences certifiées et traitées aux fongicides contre les maladies transmises par le sol et par les semences, cela reste une pratique rare en Afrique tropicale. Le semis est effectué à la main ou à la machine. S'il est effectué à la volée, on enfouit les semences dans le sol à l'aide d'une charrue tirée par des bêtes ou d'un disque tracté par une machine. Les semences peuvent également être semées dans un sillon derrière une charrue puis recouvertes de terre, ou encore en lignes au semoir mécanique. Les densités de semis sont souvent de 150–200 kg/ha pour un semis à la volée, et de 75–120 kg/ha pour un semis en lignes. L'espacement optimal est de 10–25 cm entre les lignes, mais il peut aller jusqu'à 35 cm. La profondeur de semis est de 2–5(–12) cm, et doit être plus importante lorsque le temps est sec. Mais au-delà de 10–12 cm de profondeur, les plantules ne lèvent pas bien. Si l'on a recours à un semoir à semis direct sans labour, le semis peut être effectué directement dans les chaumes laissés par la culture précédente. Pour le blé pluvial, les graines peuvent être semées à sec, avant le début de la saison des pluies, ou lorsque le sol est humide. Le blé tendre se cultive généralement en culture pure.

Gestion L'homogénéité du peuplement et la précocité de la vigueur sont un frein à la croissance des mauvaises herbes dans le blé tendre. A cet égard, le tallage permet à la plante de pallier à une densité suboptimale et à de mauvaises conditions météorologiques. Les pertes de rendements imputables aux mauvaises herbes sont dues à une concurrence précoce dans les 4–5 premières semaines. Le désherbage à la main, les pratiques de travail du sol, la gestion des chaumes, l'irrigation avant le semis, une bonne rotation des cultures ainsi que les herbicides permettent de lutter contre les adventices. Mais le recours aux herbicides dans de nombreux pays d'Afrique tropicale est faible voire nul (c'est le cas du Soudan, du Rwanda, du Burundi, de Madagascar), tandis qu'au Kenya, en Tanzanie, en Zambie et au Zimbabwe on les utilise presque partout.
En Afrique tropicale, la production de blé tendre est essentiellement pluviale, sauf au Malawi, en Zambie et au Zimbabwe où c'est une culture d' "hiver" irriguée (par submersion et par aspersion). Au Nigeria, la production de blé est restreinte aux réseaux d'irrigation des bassins fluviaux mis en place dans les régions du nord. Il existe un fort potentiel pour augmenter la production de blé au Soudan et en Somalie par l'irrigation. Il faut toutefois veiller à ne pas trop irriguer, car le blé est sensible à l'asphyxie

racinaire en début de croissance. Le calendrier d'irrigation est basé sur des stades de croissance prédéfinis ou des évaluations de la diminution de l'humidité du sol.

L'absorption moyenne en nutriments pour 1 t/ha de grain est de 40–43 kg de N, 5–8 kg de P, 25–35 kg de K, 2–4 kg de S, 3–4 kg de Ca, 3–3,5 kg de Mg, avec des quantités moindres de micronutriments. Les valeurs exactes dépendent des nutriments et de l'eau disponibles dans le sol, des températures et du cultivar. Les quantités moyennes d'engrais en Afrique tropicale vont de 9 kg de N et 10 kg de P sur blé pluvial en Ethiopie à 180 kg de N, 84 kg de P et 50 kg de K sur blé irrigué au Zimbabwe. L'épandage d'engrais commercial va de moins de 1% de la superficie cultivée au Burundi à 100% au Kenya et au Zimbabwe. Les fumures organiques et le compost sont rarement utilisés sur blé, sauf au Rwanda. Sur certains sols, on peut observer une carence en bore, qui fait avorter le grain ; on applique du bore sur blé irrigué en Zambie, au Zimbabwe et à Madagascar. Sur la majeure partie du blé pluvial au Kenya, on procède à des apports de cuivre, et dans certains endroits de Tanzanie, c'est le manganèse qui fait défaut. L'acidité du sol peut constituer une contrainte, par ex. dans certaines régions de production de blé de basse altitude en Zambie. Un chaulage peut parfois élever le pH, mais le retour sur investissement est médiocre sur le blé pluvial.

Les rotations qui conviennent le mieux au blé sont celles avec des espèces autres que des graminées, particulièrement des légumes secs. Dans les hautes terres de l'Afrique de l'Est, le blé est cultivé en continu ou en rotation avec d'autres céréales, des légumes secs ou des *Brassica* oléagineux comme le colza. Dans d'autres régions, les systèmes de double récolte sont courants : on produit du blé irrigué pendant la saison sèche fraîche, et des plantes comme le coton, le sorgho, le maïs, le soja ou l'arachide pendant la saison des pluies chaude. Au Zimbabwe, par exemple, la double récolte de blé irrigué et de soja pluvial est largement adoptée, car ce sont les mêmes équipements qui servent pour semer et récolter les deux cultures.

En Afrique tropicale, on produit du blé dans des systèmes agraires qui vont de la culture pluviale à petite échelle où l'on emploie beaucoup de main-d'œuvre (par ex. au Kenya et dans le sud de la Tanzanie), à des exploitations agricoles hautement mécanisées comme il en existe au Nigeria, au Soudan, dans le nord et le centre de la Tanzanie et au Zimbabwe.

Maladies et ravageurs Le blé tendre est affecté par plusieurs maladies et ravageurs. En Afrique tropicale, la rouille jaune (*Puccinia striiformis*), transmise par les urédospores portées par l'air, et les septorioses, notamment *Septoria tritici* (synonyme : *Mycosphaerella graminicola*), sont les principales maladies des hautes terres. La rouille noire (*Puccinia graminis*) peut faire de gros dégâts en Ethiopie, au Kenya et dans certaines régions du Soudan ; comme la rouille jaune, elle se propage par voie aérienne grâce à des urédospores. D'autres maladies importantes certaines années sont la carie (*Tilletia* spp.), le charbon nu (*Ustilago tritici*, synonyme : *Ustilago nuda* f.sp. *tritici*), le virus de la jaunisse nanisante de l'orge (BYDV) et la maladie des striures des feuilles et des glumes noires (*Xanthomonas translucens*). Le recours à des cultivars résistants est la mesure de lutte la plus efficace contre ces maladies. Cependant, pour la rouille jaune, le contournement de la résistance est très fréquent. On emploie des fongicides pour lutter contre la rouille jaune au Kenya, en Ouganda et en Tanzanie.

Les insectes ravageurs les plus importants en Afrique tropicale sont les pucerons, qui peuvent également transmettre des virus. Le criquet migrateur africain (*Locusta migratoria*) est un ravageur périodique qui provoque des dégâts sur les cultures dans le nord et l'est de l'Ethiopie. La mouche de Hesse (*Mayetiola destructor*) est depuis longtemps un ravageur important des régions situées au bord de la Méditerranée en Afrique du Nord, en Europe méridionale et en Asie occidentale. Le recours aux insecticides commerciaux en Afrique tropicale est rare, sauf au Soudan, en Zambie et au Zimbabwe contre les pucerons. Les oiseaux (en particulier *Quelea quelea*) sont d'importants ravageurs sur le blé irrigué.

Parmi les insectes importants des denrées stockées, par ex. en Ethiopie, figurent *Sitophilus* spp. sur les grains entiers, ainsi que *Tribolium* spp. et *Ephestia cautella* (synonyme : *Cadra cautella*, une pyrale) sur la farine de blé. La propreté des lieux de stockage et le maintien du grain à une humidité et une température suffisamment basses inhibent l'activité et le développement des insectes. Les rongeurs, principalement le rat noir (*Rattus rattus*), font également des dégâts sur les grains stockés.

Récolte En Afrique tropicale, le blé tendre se récolte généralement à l'aide de faucilles ou de couteaux, et sur les grosses exploitations, à

la moissonneuse-batteuse. Une récolte moissonnée à la maturité physiologique (teneur en humidité du grain de 25–35%) doit être bien séchée avant le battage. Un temps pluvieux au moment de la moisson peut entraîner d'importantes pertes de qualité du grain, parce que celui-ci se met immédiatement à germer. Après les avoir récoltés à la faucille, on met les plantes en meules ou on les étale afin de les faire sécher au soleil. Le battage est effectué par piétinement à l'aide de bêtes de somme, en frappant sur des sacs pleins d'épis, ou directement à la moissonneuse-batteuse. Dans la plupart des régions d'Afrique tropicale, le bétail broute le chaume de blé.

Rendements Très variables, les rendements de blé tendre en Afrique tropicale vont de 400 kg/ha en Somalie ou 700 kg/ha en Angola à 5 t/ha en Zambie ou 6,3 t/ha au Zimbabwe. Le rendement moyen de blé en Afrique tropicale est estimé à environ 1,5 t/ha. Des rendements inférieurs s'expliquent par des températures élevées, une forte humidité, la pression des maladies et la faible quantité d'engrais appliqués. Les maxima de rendements enregistrés pour le blé d'hiver irrigué sont de 14 t/ha, et de 9,5 t/ha pour le blé de printemps ; sur la base du potentiel génétique, on estime à 20 t/ha le rendement maximum absolu.

Traitement après récolte Une fois battu, le grain de blé tendre est vanné, nettoyé et préparé à être stocké ou vendu. Pour garantir un stockage sans risque, les grains doivent être séchés à 13–14% d'humidité. Des températures élevées et la présence d'humidité peuvent entraîner des pertes. Il peut être nécessaire de répéter régulièrement le séchage pour maintenir la viabilité des semences, si celles-ci ne sont pas stockées dans un récipient hermétique.

Ressources génétiques Le Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) de Mexico, au Mexique (60 400 entrées) et le Centre international de recherche agricole sur les régions arides (ICARDA), à Alep, en Syrie (9700 entrées) conservent de vastes collections de ressources génétiques de *Triticum aestivum*. D'importantes collections sont également détenues aux Etats-Unis (à l'USDA-ARS National Small Grains Germplasm Research Facility, à Aberdeen dans l'Idaho, 42 000 entrées), en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), à Pékin, 35 900 entrées), et en Russie (Institut Vavilov, à St. Petersbourg, 25 900 entrées). En Afrique tropicale, c'est l'Institute of Biodiversity Conservation (à Addis Abeba, en Ethiopie) qui possède la plus importante collection de blé tendre (3400 entrées). Le blé est une espèce prioritaire en matière de collection et de conservation. Mais pour les futurs programmes d'amélioration, il est nécessaire de poursuivre les prospections des espèces apparentées sauvages et adventices dans les régions où elles sont indigènes, des variétés traditionnelles dans les régions où elles n'ont jamais été collectées auparavant, et la mise en collection de cultivars améliorés nouveaux ou obsolètes possédant des caractères spécifiques et issus des programmes d'amélioration génétique du monde entier.

Sélection Le CIMMYT et l'ICARDA mènent d'importants programmes d'amélioration génétique et ont pour mission à l'échelle internationale de diffuser les ressources génétiques de blé tendre aux programmes des divers pays qui en font la demande. En Afrique tropicale, ce sont l'Ethiopie et le Kenya qui conduisent de vigoureux programmes d'amélioration génétique dans le secteur public. Au Zimbabwe, il existe une recherche privée, et dans une certaine mesure au Kenya et en Zambie également. Un rendement élevé en grain et une résistance aux maladies, surtout à la rouille jaune et à la septoriose, en sont les principaux objectifs. En Afrique tropicale, on a recours principalement à des méthodes d'amélioration classiques. Un certain nombre de cultivars à haut rendement, en particulier des types de printemps dérivés de ressources génétiques du CIMMYT, ont été commercialisés dans les pays d'Afrique tropicale. Leur utilisation a été estimée pour 1995 à 5% au Malawi, et à 100% en Zambie et au Zimbabwe.

Le blé tendre est l'une des plantes cultivées qui a le plus bénéficié du transfert de gènes d'autres espèces, comme *Aegilops*, *Hordeum* et *Secale* spp., par hybridation artificielle, principalement pour augmenter la résistance aux maladies, aux rouilles surtout. Les progrès en génétique moléculaire et en génie génétique ont été plus lents pour le blé que pour des céréales telles que le riz et le maïs en raison du niveau de ploïdie du blé, de la taille et de la complexité de son génome, de son faible degré de polymorphisme et de la relative inefficacité des systèmes de transformation. En conséquence, il existe beaucoup moins de cartes pour le blé et très peu d'études sur les QTL (locus de caractères quantitatifs) ont été répertoriées. En revanche, la nature hexaploïde du blé tendre et sa souplesse vis-à-vis des manipulations cytogénetiques ont offert des outils uniques aux chercheurs en génétique moléculaire. On

peut citer notamment l'utilisation de lignées aneuploïdes pour attribuer des marqueurs moléculaires à des bras chromosomiques spécifiques, de lignées de délétion chromosomique pour la cartographie physique et de lignées de substitution chromosomique qui servent à dresser la cartographie des gènes d'une zone chromosomique connue. La création d'agents d'hybridation chimiques améliorés, qui permettent aux sélectionneurs de surmonter les problèmes liés à la stérilité mâle cytoplasmique, a fait énormément progresser les travaux pour produire des cultivars de blé hybrides économiquement acceptables. Il a récemment été mis au point un système de transformation efficace au moyen d'*Agrobacterium*, destiné à la production à grande échelle de plantes transgéniques de blé. Des laboratoires privés ont quant à eux créé des cultivars transgéniques de blé tendre résistants aux herbicides, mais la production à des fins commerciales n'a pas encore commencé.

Perspectives Comme le blé tendre est la céréale la plus importante en alimentation humaine, on ne saurait trop insister sur le besoin d'en augmenter constamment la production. En Afrique tropicale, la consommation de pain de blé est faible, et elle varie d'un pays à l'autre ; elle va de 2,5 kg de blé par personne et par an en Ouganda à 43,3 kg par personne et par an au Soudan. Cependant, comme l'urbanisation et les revenus ne cessent de croître, il est probable qu'il y aura en même temps une demande pour des produits de blé traditionnels mais aussi pour des produits transformés nouveaux et pratiques. Comme aucun pays d'Afrique tropicale n'est autosuffisant à 100% pour le blé, cette partie du monde doit faire face à des importations en rapide augmentation. Dans nombre de ces pays, la production de blé subit la contrainte de n'avoir qu'un accès limité aux cultivars à haut rendement, aux engrais, aux autres intrants et à l'irrigation. L'augmentation de la production de blé pourra provenir de l'expansion des superficies cultivées aux régions non traditionnelles, associée à des incitations sociales et économiques, et de l'accroissement des rendements dus à la recherche agronomique et à la sélection. Depuis les années 1990, on a noté une augmentation des superficies cultivées de blé tendre au Soudan, en Ethiopie, au Kenya, en Tanzanie et en Zambie. Parmi les travaux de recherche destinés à améliorer les rendements en blé à l'échelle mondiale, on procède aussi à un nouveau brassage de ressources génétiques grâce à l'hybridation éloignée et aux hexaploïdes synthétiques, on recourt aux biotechnologies et au blé hybride, et on mène des études de base sur la physiologie du blé et ses relations en tant que plante hôte avec diverses maladies et ravageurs. Les tolérances à la sécheresse, à la chaleur, à l'acidité des sols aluminiques et à l'asphyxie racinaire sont quelques-uns des facteurs abiotiques qui réclament l'attention permanente des chercheurs.

Références principales CIMMYT, 1985; Curtis, Rajaram & Gómez Macpherson (Editors), 2002; Heisey & Lantican, 1999; Heyene (Editor), 2002; Klatt (Editor), 1988; Payne, Tanner & Abdalla, 1996; Saunders & Hettel (Editors), 1994; Tanner & Raemaekers, 2001; van Ginkel & Villareal, 1996; Wiese, 1987.

Autres références Ageeb et al. (Editors), 1996; Bowden, 1959; Braun et al. (Editors), 1997; Byerlee & Moya, 1993; Dvorak et al., 1998; Edwards, 1997; Feldman, Lupton & Miller, 1995; Gebre-Mariam, Tanner & Hulluka (Editors), 1991; Hanson, Borlaug & Anderson, 1982; Hu et al., 2003; Jordaan, 1999; Khairallah et al., 2001; Phillips, 1995; Pickett, 1993; Quisenberry & Reitz (Editors), 1967; Roelfs, Singh & Saari, 1992; Simmonds & Rajaram (Editors), 1988; USDA, 2005; Walker & Boxall, 1974; Zhou et al., 2003.

Sources de l'illustration van Ginkel & Villareal, 1996.

Auteurs G. Belay

Basé sur PROSEA 10: Cereals.

TRITICUM TURGIDUM L.

Protologue Sp. pl. 1: 86 (1753).

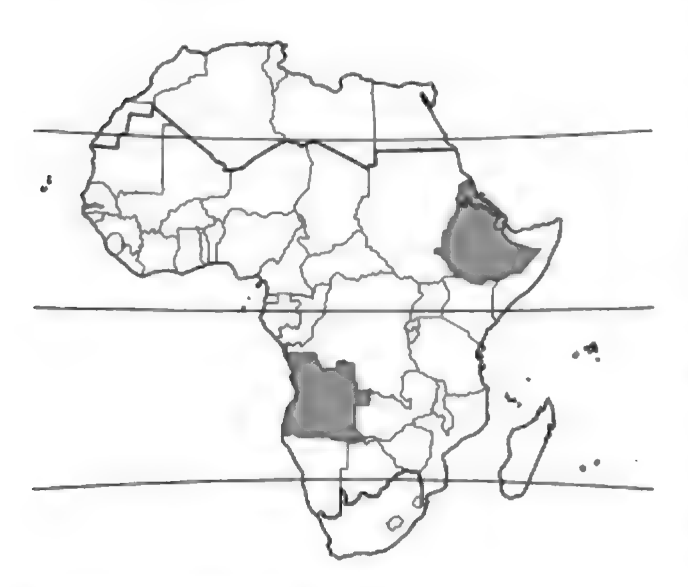
Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 28$

Synonymes *Triticum dicoccon* Schrank (1789), *Triticum durum* Desf. (1798).

Noms vernaculaires Blé dur (Fr). Durum wheat, macaroni wheat (En). Trigo duro, trigo rijo (Po).

Origine et répartition géographique Le premier blé sauvage tétraploïde résulte d'une hybridation suivie d'un doublement chromosomique entre les espèces diploïdes *Triticum urartu* Tumanian ex Gandylian (génome A) et le donneur du génome B, dont l'identité reste à confirmer (peut-être une espèce d'*Aegilops*, section *Sitopsis*). Des restes de types primitifs de *Triticum turgidum* cultivé (l'amidonnier, qui est un blé à grains vêtus), découverts sur plusieurs sites archéologiques en Syrie, ont été



Triticum turgidum – planté

datés d'environ 8000 avant J.-C. L'amidonnier, devenu le blé cultivé prédominant du Croissant fertile (la Turquie méridionale, le nord de l'Irak et les régions voisines en Iran et en Syrie, ainsi que la vallée du Jourdain), se répandit dans une grande partie de l'Asie, du nord de l'Afrique et de l'Europe. Il demeura le principal type de blé pendant plusieurs milliers d'années. Des blés à grains nus, tels que le blé dur, virent le jour par une accumulation de mutations et des sélections ultérieures opérées à partir de l'amidonnier. C'est vers le début de l'ère chrétienne que le blé dur a remplacé l'amidonnier dans la plupart des régions de production de blé de l'Ancien Monde. De nos jours, le blé dur est le type de *Triticum turgidum* le plus important. On ignore à quel moment et de quelle façon exactement le blé dur gagna l'Afrique tropicale, mais il pourrait être arrivé sur les hautes terres du nord de l'Ethiopie aux alentours de 3000 avant J.-C. En Afrique tropicale, le blé dur est avant tout cultivé en Ethiopie et dans une certaine mesure, en Erythrée et en Angola. Dans d'autres pays comme le Soudan et la Tanzanie, il n'a été cultivé qu'à titre expérimental. Le blé dur est aussi une culture répandue dans le nord de l'Afrique (du Maroc à l'Egypte), en Europe méditerranéenne (Italie, sud de la France), en Turquie, au Proche-Orient (Syrie, Jordanie, et Irak), en Russie, en Asie (Iran, Afghanistan, Inde, Chine), en Amérique du Nord (Canada et Etats-Unis) et en Argentine.

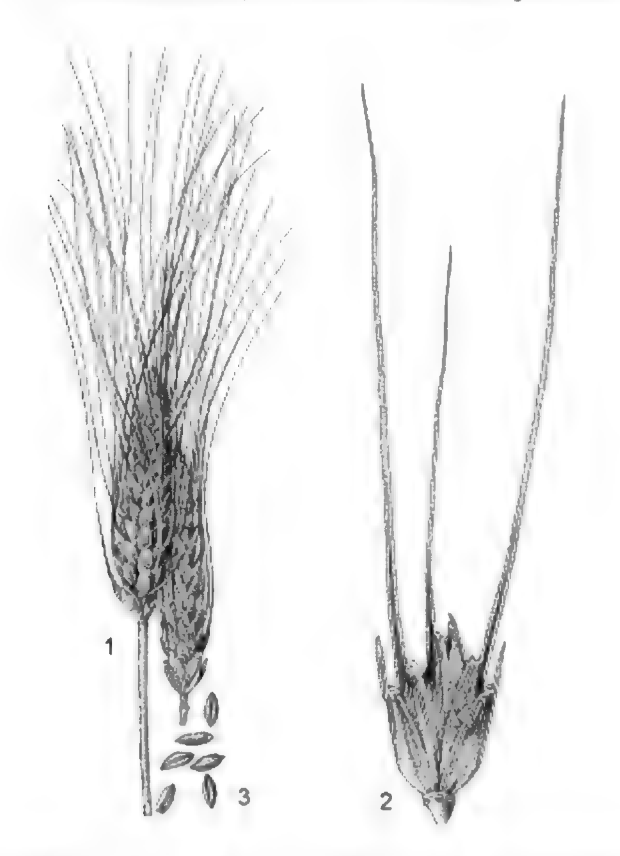
Usages Dans le monde entier, le blé dur sert surtout à produire de la semoule (de granulométrie supérieure à la farine) dont on fait toutes sortes de pâtes (macaronis, spaghettis, nouilles) et des pains plats traditionnels (peu levés). En Afrique tropicale, les usages du blé dur ont été adaptés aux usages culinaires locaux. En Ethiopie, il sert principalement à confectionner la "kitta" (pain non levé), l' "injera" (grande crêpe utilisée comme du pain) ainsi que des boissons alcoolisées ou non faites à la maison. Le blé dur est aussi le blé favori pour la fabrication du "kinchie" (une préparation à base de grains de blé écrasés, cuits au lait ou à l'eau et mélangés à du beurre épicé), que l'on sert souvent au petit déjeuner. Les grains sont mangés comme amuse-gueule, et lors des fêtes, ils peuvent prendre plusieurs formes : le "nifro" (grains entiers cuits à l'eau, et souvent mélangés à des légumes secs), le "kollo" (grains grillés) et le "dabo-kollo" (une pâte de grains broyés assaisonnée, façonnée et frite). Dans le nord de l'Afrique, c'est le blé dur qui a la préférence pour la fabrication du couscous, dont les grains résultent de l'agglomération de particules de semoule. Au Proche-Orient, c'est aussi le blé dur qui sert à faire le boulgour, qui est un blé étuvé, séché puis concassé.

La paille de blé dur sert aussi bien à l'alimentation du bétail qu'à sa litière ; on l'emploie également pour couvrir des toits.

Production et commerce international Le blé dur et le blé tendre sont souvent agrégés dans les statistiques, et il est donc difficile d'obtenir des chiffres fiables sur le blé dur seul. Selon des estimations de la FAO, en 1999–2003, la production mondiale moyenne de blé (blé tendre et blé dur confondus) s'est élevée à 576 millions de t/an sur 209 millions d'ha. Dans le monde, le blé dur représente moins de 10% des superficies cultivées en blé, toutes types confondus. Les principaux pays producteurs de blé dur sont l'Afrique du Nord, où il couvre presque 50% du total des superficies emblavées, les Etats-Unis, le Canada et la Russie. Le principal pays producteur de blé dur d'Afrique tropicale est l'Ethiopie, dont près de 50% de la production totale de blé (1,4 million t/an en 1999–2003) est constituée de blé dur. Le blé dur produit en Ethiopie est principalement une culture d'auto-consommation. L'Ethiopie produisait aussi de l'amidonnier, mais cette culture est en voie de disparition.

Propriétés Le grain de blé dur contient par 100 g de partie comestible : eau 10,9 g, énergie 1418 kJ (339 kcal), protéines 13,7 g, lipides 2,5 g, glucides 71,1 g, Ca 34 g, Mg 144 mg, P 508 mg, Fe 3,5 mg, Zn 4,2 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,42 mg, riboflavine 0,12 mg, niacine 6,7 mg, vitamine B_6 0,42 mg, folates 43 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en aci-

des aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 176 mg, lysine 303 mg, méthionine 221 mg, phénylalanine 681 mg, thréonine 366 mg, valine 594 mg, leucine 934 mg et isoleucine 533 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 930 mg, acide palmitique 422 mg et acide oléique 335 mg (USDA 2005). Le grain de blé dur est déficitaire en certains acides aminés comme la lysine et la thréonine, et dans une certaine mesure en isoleucine et valine. C'est une bonne source de vitamines du groupe B et de minéraux. Vitreux, de couleur ambrée, le grain de blé dur est le plus dur de tous les blés. Les caractéristiques physiques et chimiques du gluten de blé dur apportent une plus grande stabilité à la pâte et la rendent particulièrement indiquée pour les produits de type pâtes. Le grain qui entre dans la fabrication des pâtes alimentaires n'est moulu que jusqu'au stade de la semoule ; il n'est pas nécessaire qu'il ait une mouture fine. Lors de la cuisson, les pâtes de bonne qualité ne se défont pas, elles ne ramollissent pas, et ne se transforment pas en bouillie pâteuse ou collante. Leur teneur minimale en protéines doit être de 12%. En revanche, ce blé ne convient pas à la fabrication de gâteaux ou de pain levé en raison de sa teneur élevée en gluten et de la force de sa pâte.



Triticum turgidum – 1, inflorescences ; 2, épillet ; 3, grains.
Redessiné et adapté par Achmad Satiri Nurhaman

Description Graminée annuelle, souvent fortement touffue, atteignant 170 cm de haut ; tige (chaume) cylindrique, lisse, creuse sauf aux nœuds. Feuilles alternes distiques, simples et entières ; gaine arrondie, auriculée ; ligule membraneuse ; limbe linéaire, de 15–40 cm × 1–2 cm, à nervures parallèles, plat, légèrement poilu. Inflorescence : épi terminal, dense, distique, de 4–12 cm de long, à épillets sessiles, solitaires sur un rachis en zigzag solide et poilu. Epillet de 10–15 mm de long, comprimé latéralement, à 4–7 fleurs bisexuées, mais dont les 1–3 supérieures sont généralement rudimentaires ; glumes presque égales, oblongues, plus courtes à presque aussi longues que l'épillet, finement coriaces, à 5–11 nervures, fortement carénées sur toute la longueur, apiculées à aristées ; lemme arrondie au dos, mais carénée vers l'extrémité, coriace, à arête de 8–20 cm de long ; paléole à 2 carènes poilues ; lodicules 2, ciliées ; étamines 3 ; ovaire supère, se terminant par un petit appendice charnu et poilu, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) ellipsoïde, muni d'un sillon central sur l'une des faces.

Autres données botaniques Le genre *Triticum* est un exemple classique d'allopolyploïdie, car il est constitué d'espèces diploïdes ($2n = 14$), tétraploïdes ($2n = 28$) et hexaploïdes ($2n = 42$). La sélection aux niveaux diploïde et tétraploïde s'est opérée à partir des espèces sauvages à grain vêtu et à rachis fragile pour arriver aux formes à grain nu et à rachis solide ; mais les blés hexaploïdes sont inconnus à l'état sauvage, et sont apparus en culture. La classification du genre *Triticum* et des autres genres apparentés au sein de la tribu *Triticeae* a fait l'objet de nombreuses discussions. La polyploïdie et la différenciation biphylétique des génomes (génome B par rapport à G) sont des mécanismes qui isolent et délimitent bien les espèces. Selon cette approche, *Triticum* ne comprend que 5–6 espèces, dont font partie le diploïde *Triticum monococcum* L. (l'engrain ou petit épeautre, cultivé sporadiquement dans le sud de l'Europe et en Asie occidentale), le tétraploïde *Triticum turgidum* L. et l'hexaploïde *Triticum aestivum* L.

Certains blés tétraploïdes cultivés sont parfois distingués de *Triticum turgidum* : *Triticum aethiopicum* Jakubz., un type spécial de blé à grain nu, est une céréale traditionnelle de l'Ethiopie et du sud de la péninsule Arabique.

Ses épis sont lâches à serrés, ses glumes sont généralement aristées et son grain est surtout de couleur violette. *Triticum dicoccon* Schrank (l'amidonnier), qui est le plus ancien de tous les blés tétraploïdes cultivés, fut domestiqué dans une région couvrant la Palestine, le sud-ouest de la Syrie et le nord-ouest de la Jordanie. Il a des épis que se désarticulent, avec des épillets à 2 grains vêtus qui ne se décortiquent pas facilement. Il est encore cultivé de nos jours en Ethiopie, en Iran, en Turquie, en Transcaucasie, dans l'ancienne Yougoslavie, en République tchèque, en Slovaquie et en Inde. *Triticum durum* Desf. est le blé dur, à grain nu, apparu en Méditerranée et cultivé dans des régions de climat sec et chaud ; c'est en Ethiopie qu'il présente la plus grande diversité. Il possède de fins épis et des glumes longues, en comparaison des autres types. *Triticum polonicum* L., le blé de Galice (qualifié erronément de "polonais" par Linné), à grain nu, est parfois cultivé dans les mêmes régions que le vrai blé dur. Il a des glumes bien plus longues (2,5–3 cm). En Ethiopie on ne le trouve que mélangé à d'autres blés. Le blé poulard (*Triticum turgidum* L. sensu stricto) est cultivé dans le nord de l'Afrique, en Europe méridionale et centrale et en Asie. Ses épis sont trapus, à section presque carrée, et à glumes relativement courtes. Il est également cultivé en Ethiopie, habituellement en mélange.

La plupart des cultivars de blé dur sont des types de printemps ou semi-hivernaux. On n'en connaît que quelques types d'hiver.

Croissance et développement La germination du blé a lieu à des températures de 4–37°C, la fourchette optimale se situant entre 12–25°C. Le coléoptile apparaît 4–6 jours après la germination. La floraison démarre dans le tiers médian de l'épi et se poursuit rapidement vers le haut et le bas. Le blé dur est avant tout autogame ; en Ethiopie, on a enregistré jusqu'à 4,3% de pollinisation croisée. La maturité physiologique est atteinte lorsque la teneur en humidité du grain complètement formé tombe à 25–35%. En Ethiopie, le cycle cultural complet du blé dur prend 90–115 jours.

Ecologie Le blé dur est plus adapté que le blé tendre aux régions où la pluviométrie annuelle moyenne est faible ; c'est le cas du Proche-Orient, de l'Afrique du Nord et de certaines régions d'Europe méditerranéenne. Dans les tropiques, la culture du blé dur réussit mieux en altitude, ou bien pendant les mois les moins chauds de l'année. En Ethiopie, la production de blé dur est concentrée sur les hautes terres du centre, du nord et du nord-ouest, à 1800–2800 m d'altitude, lors de la principale saison des pluies (qu'on appelle "meher"), entre août et décembre. Pour cultiver le blé dur en dessous de 1900 m en Ethiopie, il faut des cultivars dotés d'une grande résistance à la rouille. Des températures élevées et une humidité faible peuvent améliorer la qualité du grain de blé dur, qui est sensible aux basses températures et aux fortes gelées. Pour produire une récolte acceptable, il faut au moins 250 mm d'eau.

Les sols qui conviennent le mieux à la production de blé dur sont ceux qui sont bien aérés, bien drainés, profonds, et comportent au moins 0.5% de matière organique. Le pH optimal du sol est de 5,5–7,5. Le blé dur est sensible à la salinité du sol. En Ethiopie, on préfère cultiver le blé dur sur des sols noirs lourds et argileux (vertisols) ; pour éviter l'asphyxie racinaire par la saturation en eau, les paysans ont coutume de retarder le semis et de recourir à des systèmes de drainage en surface (sillons). Une carence en azote et en micronutriments peut constituer un facteur limitant sur les vertisols. On peut aussi faire pousser du blé dur sur des sols légers (andosols), mais dans ce cas, il faut utiliser des cultivars à tige raide et courte, résistants aux maladies.

Multiplication et plantation Le blé dur se reproduit par graines. Le poids de 1000 graines est de 30–40 g. Le blé dur se sème à la main ou à la machine ; en Ethiopie, il se sème le plus souvent à la volée. La dormance peut poser un problème chez les cultivars introduits, mais pas chez les variétés traditionnelles éthiopiennes. La densité de semis couramment pratiquée est de 100–150(–175) kg/ha ; les densités les plus élevées sont nécessaires sur des sols lourds et argileux où la culture n'a souvent pas une bonne tenue sur des lits de semis plats. Bien qu'il soit recommandé d'employer des semences certifiées et traitées aux fongicides contre les maladies transmises par le sol et par les graines, cette pratique n'a pas cours en Afrique tropicale. En Ethiopie, on utilise un outil tiré par des bœufs (la "maresha") pour travailler la terre avant le semis ; 2–3 labours sont effectués avant le semis. Dans ce pays, les dates de semis sont variables et vont de la mi-juillet à début septembre.

Gestion La concurrence des mauvaises herbes pendant le tallage du blé dur, qui intervient généralement 10–50 jours après le semis, nuit énormément à la production de grain. Un peuplement homogène et une vigueur précoce sont un frein à la croissance des mauvaises

herbes. Si les adventices entrent en concurrence avec le blé dur plus tard au cours du cycle cultural, cela peut avoir une incidence sur le nombre de grains et leur poids, mais généralement moins d'effet sur le rendement en grain. On peut maîtriser leur progression en désherbant à la main, en pratiquant une bonne rotation des cultures, en arrosant avant le semis, par un travail du sol mécanique ou en utilisant des herbicides chimiques. En Afrique tropicale, le désherbage manuel reste le moyen le plus courant pour éliminer les mauvaises herbes. Les quantités d'engrais recommandées pour le blé dur en Ethiopie sont de 41 kg de N et 26 kg de P à l'ha ; on peut de plus appliquer 23 kg de N à l'ha en fumure de surface lorsqu'il tombe de fortes précipitations aux premiers stades de la croissance. Mais il est rare que les paysans éthiopiens accordent la priorité au blé dur lorsqu'ils emploient des engrais chimiques.

Maladies et ravageurs Les maladies les plus importantes du blé dur en Afrique tropicale sont la rouille noire (*Puccinia graminis*) et la rouille brune (*Puccinia recondita* f.sp. *tritici*, synonyme : *Puccinia triticina*). Le recours à des cultivars résistants est la mesure de lutte la plus efficace contre ces maladies. Dans les régions moins chaudes, la rouille jaune (*Puccinia striiformis*) limite la production du blé dur ; c'est le cas des hauts plateaux de l'Arsi, en Ethiopie.

Les insectes ravageurs qui font le plus de dégâts en Afrique tropicale sont les pucerons (qui peuvent également transmettre des virus) et les sauterelles. Le criquet migrateur africain (*Locusta migratoria*) est un ravageur périodique qui provoque des dégâts sur les cultures dans le nord et l'est de l'Ethiopie. La mouche de Hesse (*Mayetiola destructor*) est depuis longtemps un ravageur important des régions situées au bord de la Méditerranée dans le nord de l'Afrique, en Europe méridionale et en Asie occidentale. Le recours aux insecticides chimiques est rare en Afrique tropicale. Parmi les insectes importants des denrées stockées en Ethiopie figurent *Sitophilus* spp. sur les grains entiers, ainsi que *Tribolium* spp. et *Ephestia cautella* (synonyme : *Cadra cautella*, une pyrale) qui s'attaquent à la farine de blé. Les rongeurs, principalement le rat noir (*Rattus rattus*), font également des dégâts sur les grains stockés.

Récolte En Afrique tropicale, le blé dur se moissonne généralement à la faucille, rarement mécaniquement. Une récolte moissonnée au moment de la maturité physiologique (à une teneur en humidité du grain de 25–35%) doit être complètement séchée avant le battage. Un temps pluvieux au moment de la moisson peut entraîner d'importantes pertes de qualité, parce que le grain se met immédiatement à germer. On met les plantes en meules ou on les étale pour les faire sécher au soleil. Le battage est le plus souvent effectué par piétinement, à l'aide de bêtes de somme.

Rendements Les rendements en blé dur produit dans les champs des paysans d'Ethiopie varient de 800 kg/ha à 2,5 t/ha ; le rendement moyen est estimé à moins de 1 t/ha. Ces rendements relativement bas s'expliquent par faible utilisation de cultivars améliorés et de pratiques de production optimales, ainsi que par les faibles quantités d'engrais appliquées. Pour le blé dur, la progression des rendements a généralement été plus lente que pour le blé tendre. On peut cependant obtenir 5–6 t/ha sous irrigation, en utilisant des cultivars améliorés et en mettant en œuvre de meilleures techniques de production. Les rendements en paille sont d'une importance égale en Ethiopie, et ils sont de 9–15 t/ha.

Traitement après récolte En Afrique tropicale, par ex. en Ethiopie, les grains sont séparés des résidus par vannage, après le battage. Une fois nettoyés, les grains sont stockés, vendus ou transformés pour l'auto-consommation. Après sa récolte, le grain de blé dur doit être séché à un taux d'humidité ne dépassant pas 13–14% pour garantir un bon stockage. Les températures élevées et les conditions humides peuvent entraîner des pertes. Il peut être nécessaire de répéter régulièrement le séchage pour maintenir la viabilité des semences si celles-ci ne sont pas stockées dans un récipient hermétique.

Ressources génétiques Le Centre international de recherche agricole sur les régions arides (ICARDA), à Alep, en Syrie (21 010 entrées) et le Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) de Mexico, au Mexique (7880 entrées) maintiennent d'importantes collections de ressources génétiques de *Triticum turgidum*. D'importantes collections sont également détenues aux Etats-Unis (USDA-ARS National Small Grains Germplasm Research Facility d'Aberdeen, Idaho, 42 030 entrées), en Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg, 5580 entrées) et en Australie (Australian Winter Cereals Collection, Agricultural Research Centre de Tamworth, New South Wales, 5520 entrées). En Afrique tropicale, l'Institute of Biodiversity Conservation (à

Addis Abeba, en Ethiopie) possède la collection la plus importante de *Triticum turgidum* (12 500 entrées). L'Ethiopie étant un centre important de diversité du blé dur, plusieurs travaux depuis les années 1970 ont été consacrés à décrire l'étendue et la structuration des ressources génétiques du blé dur éthiopien à l'aide de marqueurs morphologiques, protéiniques, cytologiques et moléculaires. Si la superficie cultivée en blé dur a diminué depuis les années 1970, on ne constate dans l'ensemble aucun changement flagrant dans sa diversité.

Sélection Le CIMMYT et l'ICARDA ont reçu mandat à l'échelle internationale pour diffuser des ressources génétiques de blé dur aux programmes nationaux. En Afrique tropicale, un programme important d'amélioration génétique est en cours en Ethiopie depuis 1976. Un rendement élevé en grain et la résistance aux maladies, principalement à la rouille noire et à la rouille brune, sont les principaux objectifs de ce programme, auxquels on a récemment ajouté un objectif de qualité industrielle. Les interactions génotype-environnement sont considérables en Ethiopie, et l'objectif a de ce fait évolué d'une adaptation large à une adaptation spécifique. Les principales méthodes d'amélioration génétique restent classiques et font appel à la sélection à partir de variétés locales indigènes et d'introductions issues du CIMMYT et de l'ICARDA, ainsi qu'aux hybridations. Mais les introductions provenant d'autres pays ont mieux réussi que les sélections dans les variétés locales. Plus de 16 cultivars de blé dur ont été officiellement autorisés à la vente, mais la superficie qu'ils occupent ne dépasse pas 10% de la totalité des superficies cultivées avec cette céréale. Les cultivars les plus couramment cultivés sont, entre autres, 'Boohai', 'Foka', 'Kilinto' et 'Yerer'.

Des cartes de liaisons génétiques de blé dur ont été mises au point et d'importants QTL (locus de caractères quantitatifs) relatifs à la qualité du grain ont été identifiés. Les progrès en génétique moléculaire et en génie génétique ont été plus lents pour le blé que pour des céréales telles que le riz et le maïs en raison du niveau de ploïdie du blé, de la taille et de la complexité de son génome, de son faible degré de polymorphisme et de la relative inefficacité des systèmes de transformation. La sélection du blé dur est moins avancée que celle du blé tendre ; en outre, elle a moins bénéficié de l'hybridation éloignée et des transferts de gènes étrangers. Le blé dur est une espèce importante dans l'amélioration génétique du blé tendre, dont il constitue l'un des composants, grâce à la formation d'hexaploïdes synthétiques, et aussi dans la création et la sélection du triticale (×*Triticosecale*), l'hybride entre le blé et le seigle.

Perspectives En Afrique tropicale, c'est l'Ethiopie qui a le potentiel le plus important pour la culture de blé dur, en raison des milieux favorables qu'offrent ses hauts plateaux secs et frais, et parce que la culture de cette céréale y est une tradition. La demande de l'industrie pastière locale en blé dur de qualité va croissant, et elle est généralement satisfaite grâce aux importations. Des programmes d'amélioration génétique ont mis au point des cultivars qui répondent à ces exigences qualitatives des industriels, mais en l'absence d'un avantage au niveau des prix par rapport aux cultivars de blé tendre dont le rendement est supérieur, les paysans voient de moins en moins d'intérêt à cultiver le blé dur. L'avenir de la production de blé dur, qui résulte de prix de marché peu favorables, peut donc sembler décourageant. Par contre, on voit de grosses exploitations agricoles se mettre à produire du blé dur pour approvisionner les industriels, et certaines sont même en train de remplacer le blé tendre, principalement en raison de la concurrence avec la farine importée. Des travaux d'adaptation sont nécessaires de la part des chercheurs pour créer un blé dur produisant de façon fiable 2–3 t/ha dans les champs des paysans. Il faut également que la recherche agronomique progresse, qu'on détermine les régions adaptées à sa production et qu'on établisse des modes de fixation des prix et de commercialisation qui soient attractifs pour les agriculteurs. Un facteur décisif est l'engagement à long terme de l'Etat, des agriculteurs, du secteur privé (y compris des producteurs de semences) et des programmes nationaux de recherche. Si on arrive à mettre en place ce partenariat et à le faire fonctionner, l'Ethiopie pourrait même exporter du blé dur de qualité.

Références principales Bechere, Kebede & Belay, 2001; Bechere, Tesemma & Mitiku, 1994; Gebre-Mariam, Tanner & Hulluka (Editors), 1991; Morris & Sears, 1967; Scarascia Mugnozza (Editor), 1973; Srivastava, 1984; Tanner & Raemaekers, 2001; Tesemma & Belay, 1991; van Ginkel & Villareal, 1996; Wiese, 1987.

Autres références Alamerew et al., 2004; Belay, 1997; Belay, Tesemma & Mituku, 1993; Belay et al., 1997; Bowden, 1959; Curtis, Rajaram & Gómez Macpherson (Editors), 2002;

Elouafi & Nachit, 2004; Eticha et al., 2005; Feldman, Lupton & Miller, 1995; Gashawbeza et al., 2003; Jauhar, 2003; Mac Key, 1966; Mohamed, 1999; Payne, Tanner & Abdalla, 1996; Perrino et al., 1996; Phillips, 1995; Tarekegn, 1994; Tsegaye, 1996; USDA, 2005; Walker & Boxall, 1974.

Sources de l'illustration Landwehr, 1976; Vaughan & Geissler, 1997.

Auteurs G. Belay

TYLOSEMA ESCULENTUM (Burch.) A.Schreib.

Protologue Mitt. Bot. Staatssamml. München 3: 611 (1960).

Famille Caesalpiniaceae (Leguminosae - Caesalpinioideae)

Synonymes *Bauhinia esculenta* Burch. (1824).

Noms vernaculaires Marama (Fr). Marama bean, morama bean, gemsbok bean, camel's foot (En).

Origine et répartition géographique Le marama est originaire du désert du Kalahari et des régions sablonneuses voisines d'Angola, de Namibie, du Botswana et d'Afrique du Sud, mais il est également présent en Zambie et au Mozambique. Sa culture a été essayée avec succès au Kenya, en Afrique du Sud, en Australie, en Israël et aux Etats-Unis (Texas).

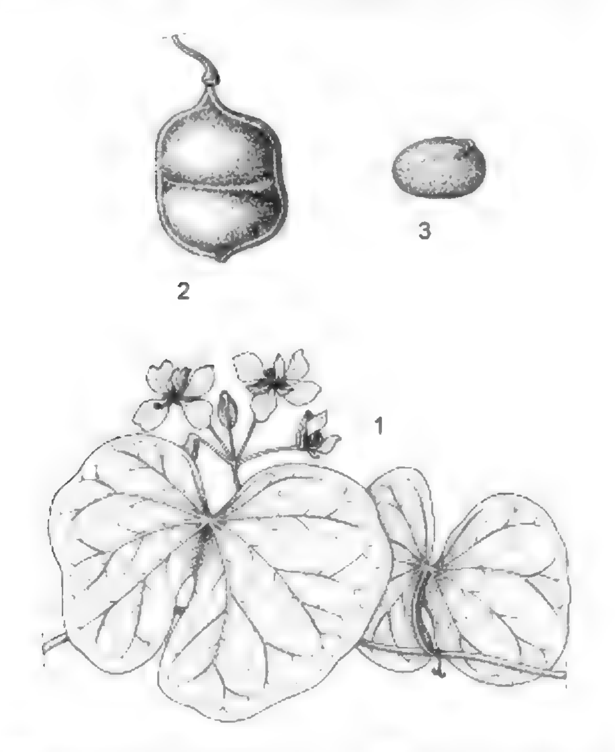
Usages Le marama constitue une part importante du régime alimentaire des Khoïsans au Kalahari, où l'agriculture de subsistance est une activité marginale en raison de la sécheresse et de la fertilité limitée des sols ; il est aussi un mets de choix chez d'autres populations d'Afrique australe. Ses graines se consomment cuites à l'eau ou grillées. Elles peuvent être cuites à l'eau avec de la fécule de maïs ou réduites en farine pour préparer une bouillie ou une boisson qui rappelle le café ou le cacao. Des graines grillées sont parfois vendues localement, mais seulement à petite échelle. Les maramas possèdent une agréable saveur sucrée lorsqu'ils sont cuits à l'eau ou grillés, qui évoque celle des noix de cajou ou des amandes grillées ; mais on en connaît des types amers. Ces graines grillées ont pu servir autrefois en cuisine de substitut de l'amande chez les Européens d'Afrique australe. Les graines immatures et les tiges peuvent se consommer cuites comme légume ou en soupe. L'huile des graines s'emploie au Botswana en cuisine et pour faire du beurre. Les jeunes tubercules sont consommés rôtis, bouillis ou grillés comme légume. Mais passé 2 ans, ils deviennent fibreux et amers et ne sont pas habituellement consommés ; ils demeurent toutefois une importante source d'eau en cas de besoin pour l'homme et les animaux. Il est fait état d'une consommation des gousses et des tubercules par les animaux, mais on ne sait pas bien s'ils broutent le feuillage, car les rapports divergent à ce sujet. Le marama pourrait avoir un potentiel comme plante de couverture ou comme plante ornementale.


Tylosema esculentum – sauvage

Propriétés Les graines mûres écossées de marama contiennent par 100 g : eau 3,9 g, énergie 2660 kJ (635 kcal), protéines 31,8 g, lipides 42,2 g et glucides 18,9 g (Bower et al., 1988). La teneur en protéines du marama est comparable à celle du soja, et sa teneur en huile deux fois plus élevée que celle du soja et comparable à celle de l'arachide. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g d ;aliment, est : tryptophane 219 mg, lysine 1119 mg, méthionine 257 mg, phénylalanine 874 mg, thréonine 822 mg, valine 1149 mg, leucine 1774 mg et isoleucine 1119 mg (FAO, 1970). Les graines ont une activité inhibitrice de trypsine relativement élevée, à laquelle on peut remédier par la cuisson. L'huile des graines, jaune doré, à odeur de noisette et à saveur agréable mais légèrement amère, a été comparée à l'huile d'amande pour sa consistance et son goût. Ses principaux acides gras sont l'acide oléique (48–49%), l'acide linoléique (19–26%), l'acide palmitique (12–14%), l'acide stéarique (7–10%) et l'acide arachidique (3%). Par 100 g de poids sec, la farine de graines dégraissée contient : énergie 194 kJ (46 kcal), protéines 55,0 g, amidon disponible 13,0 g et fibres 1,6 g. Par 100 g, les tubercules d'une plante

âgée de 5 mois contiennent : eau 92,1 g, protéines 2,1 g, lipides 0,1 g et glucides 4,4 g. Lorsqu'ils sont jeunes, les tubercules ont un goût sucré et agréable et leur texture serait semblable à celle de l'artichaut. Séchés, ils prennent une couleur rougeâtre.

Description Plante herbacée vivace ou arbuste, à racine tubérisée ; tiges prostrées et rampantes, atteignant 6 m de long, herbacées ou ligneuses dans ses parties inférieures, à poils de couleur rouille et à vrilles axillaires et fourchues de 1–4 cm de long. Feuilles alternes, simples ; stipules de 3–5 mm × 2–3 mm ; pétiole de 1,5–3,5 cm de long ; limbe 2-lobé sur plus de la moitié de sa longueur, glabre ou pubescent en dessous ; lobes réniformes, de 3,5–5 cm × 5–6,5 cm. Inflorescence : grappe latérale atteignant 16 cm de long ; pédoncule de 2–4 cm de long. Fleurs bisexuées, zygomorphes, 5-mères, hétérostylées ; pédicelle de 2–4,5 cm de long ; sépales libres mais les 2 supérieurs soudés, de 8–12 mm × 2–3 mm, à poils de couleur rouille ; pétales inégaux, les 4 plus grands de 1,5–2,5 cm × 1–1,5 cm et atténués en onglet basal, celui du haut plus petit, jaunes virant au rougeâtre avec l'âge ; étamines 2, libres, à filet de 6–12 mm de long, staminodes 8, à filet de 3–6 mm de long ; ovaire supère, de 5–6 mm de long, 1-loculaire, style allongé, stigmate petit. Fruit : gousse ovoïde à oblongue de 3,5–6 cm × 3–4 cm, aplatie, ligneuse, à 1–2(–6) graines, comprimée entre les graines. Graines ovoïdes à globuleuses, de 1,3–2,5 cm × 1,2–1,5 cm, rougeâtres à noir brunâtre.



Tylosema esculentum 1, partie d'une tige en fleurs ; 2, fruit ; 3, graine.
Redessiné et adapté par Achmad Satiri Nurhaman

Autres données botaniques Le genre *Tylosema*, qui comprend 5 espèces, est présent dans le sud et l'est de l'Afrique. Certains taxinomistes ne considèrent pas *Tylosema* comme un genre distinct, mais l'incluent dans *Bauhinia*. *Tylosema fassoglense* (Schweinf.) Torre & Hillc., qui possède également des graines et des tubercules comestibles, a des feuilles à long pétiole et à lobes moins profonds.

Croissance et développement Lors d'essais au champ au Kenya, les graines du marama ont commencé à germer 9–10 jours après le semis. Une fois germés, les semis se développent rapidement. On a noté qu'il ne commençait à fleurir que la 3e ou la 4e année après le semis, mais au cours d'essais réalisés au Texas, la floraison a débuté au bout de 2 ans et des fruits et des graines se sont formés au bout de 3,5 ans. Dans sa région d'origine, le marama fleurit d'octobre à mars. Il est essentiellement allogame et peut-être auto-incompatible ; il est pollinisé par les insectes. Lorsqu'il est cultivé, la formation de fruits et de graines a tendance à être faible. En Afrique australe, les tiges meurent pendant la période sèche et fraîche (mai–août), mais les tubercules restent viables et produisent de nouvelles tiges lorsque la température s'élève. Le marama ne forme pas de nodules racinaires et dépend de l'azote du sol. Ses mécanismes d'adaptation à la sécheresse reposent entre autres sur la fermeture des feuilles, une surface foliaire qui reste verte pendant la sécheresse grâce à la fermeture précoce des stomates et le recours aux réserves en eau du tubercule (qui se rapetisse beaucoup au cours des années sèches). Le marama est une plante à longues tiges rampantes qui traînent au niveau du sol, évitant ainsi les effets des fortes tempêtes destructives du Kalahari.

Ecologie Le marama est présent à l'état sauvage dans un milieu extrême à températures élevées (maximum diurne typique de 37°C pendant la saison de croissance), faibles précipitations (100–900 mm) et longues périodes de sécheresse. On le trouve sur les sols sableux et calcaires (y compris la dolomite), mais pas sur les sols formés sur du granite ou du basalte. Le marama est présent dans la savane herbeuse et la savane arborée. On le rencontre en populations localisées.

Multiplication et plantation La multiplication du marama se fait par graines. On dit

parfois que la scarification améliorerait la germination. Un trempage tue les graines et il ne faut pas les semer dans des sols saturés d'eau. Le poids de 1000 graines se situe à 2–3 kg. Des résultats préliminaires obtenus en laboratoire montrent que la multiplication végétative est possible en utilisant des pousses.

Récolte Dans sa région d'origine, les graines de marama sont récoltées dans la nature et à la main. Les tubercules sont déterrés à la main lorsqu'il pèsent environ 1 kg.

Rendements Au Kalahari, ce sont les jeunes tubercules de marama de 1 an et d'environ 1 kg qui sont les plus prisés. Au bout de quelques années, les tubercules peuvent atteindre 10 kg et on a signalé des poids de 300 kg ; un tubercule de 277 kg contenait 224 l d'eau. On ne dispose pas de données sur les rendements en graines du marama.

Traitement après récolte Les graines crues de marama se conservent bien et restent comestibles pendant des années. Un stockage au sec est préférable. L'huile s'extrait des graines soit par pression classique soit par extraction au solvant. Pour recueillir l'eau du tubercule, on gratte la peau et on perce un trou. On écrase la chair située dans le trou et autour avec un bâton, jusqu'à obtenir une consistance de bouillie. Cette bouillie est ensuite enveloppée dans un morceau de tissu et on presse des deux mains pour faire sortir l'eau. L'eau peut également être extraite des tubercules en pilant des morceaux dans un récipient.

Ressources génétiques Le marama n'est pas considéré comme une espèce rare ou menacée. Aucune collection de ressources génétiques n'a été signalée. L'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI) d'Addis Abeba en Ethiopie, le National Genebank de Muguga, au Kenya, et le Plant Genetic Resources Unit, Agricultural Research Council de Pretoria, en Afrique du Sud, détiennent chacun une entrée. Au stockage, les graines du marama se comportent de façon orthodoxe.

Sélection On a signalé que des programmes d'amélioration du marama sont en cours aux Etats-Unis, en Australie et en Israël. L'analyse RAPD de 3 populations issues de diverses régions du Botswana a fait apparaître l'existence d'une grande diversité génétique, bien plus intra- que inter-population. Il est possible de trouver une diversité génétique suffisante pour la sélection en procédant à l'échantillonnage de 30–40 plantes prises sur 1 ou 2 populations.

Perspectives On estime que le marama possède un potentiel considérable comme plante cultivée pour les régions arides et semi-arides ; il fait l'objet de recherches en Australie, en Israël et aux Etats-Unis (Texas). Il offre des possibilités pour ses graines grillées et son huile. Mais avant de pouvoir encourager sa culture à grande échelle, il est nécessaire de réunir davantage de données sur ses besoins écologiques, son aptitude à la culture et ses caractéristiques agronomiques. Par ailleurs, il faut porter attention à son amélioration génétique et à la collecte de ressources génétiques, et des recherches doivent être menées sur la présence de composants toxiques ou de facteurs antinutrionnels dans les graines et les tubercules.

Références principales Bower et al., 1988; Dakora, Lawlor & Sibuga, 1999; Keegan & van Staden, 1981; Ladizinsky & Smartt, 2000; Monaghan & Halloran, 1996; National Academy of Sciences, 1979; Powell, 1987; Ross, 1977; van Wyk & Gericke, 2000; Wickens, 1998.

Autres références Brummitt & Ross, 1976; Chandel & Singh, 1984; FAO, 1970; Francis & Campbell, 2003; Graham & Vance, 2003; Hao Gang et al., 2003; Hartley, Tshamekeng & Thomas, 2002; Hornetz, 1993; ILDIS, 2002; IPGRI, undated; Keith & Renew, 1975; Ketshajwang, Holmback & Yeboah, 1998; Leger, 1997; Lock, 1989; Mitchell et al., 2003; Schreiber, 1967; USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001; Victor, undated; Vietmeyer, 1978; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Sources de l'illustration Powell, 1987.

Auteurs L.J.G. van der Maesen

TYLOSEMA FASSOGLENSE (Schweinf.) Torre & Hillc.

Protologue Bol. Soc. Brot., ser. 2, 29: 38 (1955).

Famille Caesalpiniaceae (Leguminosae - Caesalpinioideae)

Nombre de chromosomes $2n = 52$

Synonymes *Bauhinia fassoglensis* Schweinf. (1868), *Bauhinia kirkii* Oliv. (1871).

Noms vernaculaires Bauhinia rampant (Fr). Sprawling bauhinia, creeping bauhinia (En).

Origine et répartition géographique On trouve *Tylosema fassoglense* dans la nature depuis le Soudan et l'Ethiopie jusqu'en Namibie, au Mozambique et en Afrique du Sud.

Usages Les graines de *Tylosema fassoglense* sont fréquemment consommées, par exemple en R.D. du Congo, en Ethiopie, en Tanzanie, au

Malawi et en Afrique du Sud. Les graines immatures et mûres peuvent être mangées crues, mais elles sont en général cuites ou grillées. Les gousses sont également consommées crues ou cuites. Les graines remplacent le café.
Les feuilles et les jeunes rameaux de *Tylosema fassoglense* sont pâturés. Au Kenya, les Massaïs et les Kipsigis fabriquent des cordages à partir des tiges ainsi que des objets tressés avec les jeunes tiges ou les fibres. Les fibres conviennent aussi à la fabrication de tissus. Le tubercule procure de l'eau dans les zones arides, et est parfois transformé en bouillie. Le jus des pousses peut servir d'eau potable. Les racines permettent d'obtenir une teinture marron. En Ethiopie, les graines, après avoir été durcies au-dessus d'un feu, sont montées en colliers et en bracelets.
En médecine traditionnelle africaine, les décoctions de racines de *Tylosema fassoglense* servent à soigner les troubles gastro-intestinaux dans plusieurs pays. Elles traitent aussi l'anémie, la fièvre et la pneumonie, et sont employées pour cicatriser l'utérus après l'accouchement. La poudre de tubercule se prend dans le traitement des maladies vénériennes. Le jus des feuilles est appliquée contre les inflammations de l'oreille moyenne. On prescrit des infusions de poudre de fleurs en cas de jaunisse et d'hypertension. Une décoction de racines et de fleurs permet de traiter l'impuissance. On encourage les enfants à manger les gousses, car on pense qu'elles sont bonnes pour l'estomac. En médecine vétérinaire, on administre des décoctions de racines de *Tylosema fassoglense* aux vaches comme galactagogue avant le vêlage, et comme breuvage en cas de rétention placentaire.

Propriétés La composition de graines de *Tylosema fassoglense* par 100 g de partie comestible est la suivante : eau 7,5 g, énergie 1888 kJ (451 kcal), protéines 43,5 g, lipides 32,6 g, glucides 14,6 g, fibres 4,2 g, Ca 80 mg, P 200 mg et Fe 40 mg (Malaisse & Parent, 1985). Des graines récoltées en R.D. du Congo et au Burundi ont donné 24–30 g d'huile par 100 g, et les principaux acides gras étaient l'acide linoléique (36–43%), l'acide oléique (33–35%), l'acide palmitique (12–16%), l'acide stéarique (3–5%), l'acide béhénique (3–5%) et l'acide arachidique (2–4%). La farine de tourteau dégraissée contient, par 100 g, 59 g de protéines avec un taux très élevé de tyrosine (7–9 g par 100 g de matière sèche) et des concentrations relativement importantes de lysine et de proline (3–4 g et 4–5 g par 100 g de matière sèche, respectivement). La farine de tourteau contient des quantités considérables d'inhibiteurs de trypsine (295 TUI/mg) et du phytate (3,5 g par 100 g de matière sèche), mais aucun hétéroside cyanogénique n'a été détecté. Pour la consommation humaine ou animale du tourteau, l'élimination ou l'inactivation des inhibiteurs de trypsine est recommandée. Récemment, un cyanoglucoside (le lithospermoside) a été isolé à partir des racines. Lors de la saison des pluies, la racine tubérisée peut contenir 86% d'eau.

Botanique Plante herbacée vivace ou arbuste, à racine tubérisée ; tige prostrée et rampante ou grimpante, atteignant 6 m de long, herbacée ou ligneuse à la base, les jeunes organes tomenteux ou poilus de couleur rouille, avec des vrilles axillaires fourchues de (2–)3–6,5(–9,5) mm de long. Feuilles alternes, simples ; stipules de 2–4 mm × 2 mm, persistantes ; pétiole de (2–)3–10(–20) cm de long ; limbe bilobé sur un tiers (parfois sur la moitié) de sa longueur, de (5–)7–13(–20) cm × (4–)8–15(–24) cm, base profondément cordée, lobes ovales à obovales, parfois arrondis, presque glabres à dense pubescente de coleur rouille au-dessous. Inflorescence : grappe latérale de 5–45 cm de long ; pédoncule de (2–)4–12(–18) cm de long. Fleurs bisexuées, zygomorphes, 5-mères, hétérostylées ; pédicelle de (1,5–)2–4,5(–6) cm de long ; sépales de 1–1,5(–2,5) cm × 3–4 mm, les 2 supérieurs complètement soudés et les 3 autres libres ; pétales inégaux, dont 4 (les plus gros) obovales-circulaires, de (1,5–)2–4(–4,5) cm × 1–3 cm et s'atténuant en un onglet basal, le supérieur beaucoup plus petit, jaunes, virant quelquefois au rose ; étamines 2, libres, avec un filet de 10–18 mm de long, staminodes 8, avec un filet de 3–6 mm de long ; ovaire supère, de 5–6 mm de long, 1-loculaire, pubescent, style allongé, stigmate petit. Fruit : gousse obovoïde à oblongue-ovoïde de 5–12 cm × 3–7,5 cm, aplatie, ligneuse, à 1–2 graines. Graines ellipsoïdes à globuleuses, légèrement comprimées, de 1,5–3 cm × 1–2 cm, châtain à noires.
Le genre *Tylosema* comprend 5 espèces et est présent en Afrique australe et orientale. Certains taxinomistes ne considèrent pas *Tylosema* comme un genre distinct, mais l'incluent dans *Bauhinia*. *Tylosema fassoglense* est extrêmement variable, en particulier par son indumentum, la taille de ses feuilles et de ses inflorescences.
Tylosema fassoglense a une croissance rapide, ses pousses s'allongeant de 5 cm par jour. En Afrique australe, *Tylosema fassoglense* fleurit d'octobre à mars. Après les incendies, la régé-

nération est rapide. *Tylosema fassoglense* ne forme pas de nodules racinaires et dépend de l'azote du sol.

Ecologie *Tylosema fassoglense* se rencontre jusqu'à 2100 m d'altitude en savane boisée et herbeuse, quelquefois en zones cultivées. Il pousse bien sur des sols pauvres, sablonneux, mais on peut le trouver également sur des sols rocailleux ou argileux. Il tolère modérément la submersion et la sécheresse.

Gestion *Tylosema fassoglense* est récolté dans la nature. On a signalé des tubercules frais pesant jusqu'à 78 kg. Pour préparer de la bouillie à partir du tubercule, on l'épluche, puis on le râpe, on l'écrase ou on le pile, et enfin on le moud en une farine fine que l'on fait cuire.

Ressources génétiques et sélection Aucune collection importante de ressources génétiques de *Tylosema fassoglense* ne semble exister. Le Plant Genetic Resources Unit, Agricultural Research Council, à Pretoria, en Afrique du Sud, détient 1 entrée. *Tylosema fassoglense* est considéré comme n'étant ni rare ni menacé.

Perspectives *Tylosema fassoglense* a des propriétés intéressantes, telles que la tolérance aux sols pauvres et à la sécheresse, des graines à taux de protéines et de lipides élevés, et des racines tubérisées capables de stocker l'eau. C'est pourquoi il est certainement justifié de mener des recherches sur le potentiel de la plante et les possibilités de sa mise en culture.

Références principales Brenan, 1967; Castro et al., 2005; Dubois et al., 1995; Dubois et al., 1994; Ross, 1977.

Autres références Fort, Jolad & Nelson, 2001; Grobbelaar & Clarke, 1975; Huxham et al., 1998; Lock, 1989; Malaisse & Parent, 1985; Neuwinger, 2000; Tabuti, Lye & Dhillion, 2003; Thulin, 1989a; van Wyk & Gericke, 2000; Watt & Breyer-Brandwijk, 1962.

Auteurs M. Brink

UROCHLOA MOSAMBICENSIS (Hack.) Dandy

Protologue Journ. Bot. 69: 54 (1931).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n = 28, 30, 42$

Noms vernaculaires Sabi grass, common urochloa, bushveld signal grass (En).

Origine et répartition géographique *Urochloa mosambicensis* est réparti depuis le Kenya jusqu'en Afrique du Sud ; il a été introduit comme plante de pâturage dans de nombreux autres pays tropicaux, notamment au Ghana et à Madagascar. Il a été introduit en Australie au début du XX[e] siècle, où il est devenu une plante fourragère importante pour l'élevage bovin du nord du pays.

Usages En Afrique australe, le grain d'*Urochloa mosambicensis* est généralement utilisé comme céréale ; les grains moulus sont transformés en bouillie. *Urochloa mosambicensis* est une plante de pâturage utile, résistante à la sécheresse, bien appétée, qui convient aussi pour faire du foin. Elle est semée comme plante de pâturage en Afrique orientale et australe, à Madagascar, en Inde, au Sri Lanka et en Australie. En Afrique du Sud, on la sème pour améliorer les prés surpâturés. En Inde, elle sert à lutter contre l'érosion des sols. En Australie, elle joue un rôle dans la réhabilitation des sites miniers.

Propriétés Les jeunes feuilles vertes d'*Urochloa mosambicensis* contiennent typiquement jusqu'à 2,5% N, 0,2% P et sont digestibles à 65–70%. En fin de saison des pluies, ces valeurs atteignent 1,2%, 0,15% et 55–60% respectivement. La qualité des feuilles et des tiges sèches est bien inférieure et celles-ci contiennent en général 0,5% N et 0,2% P. Aucune information sur les caractéristiques nutritionnelles du grain n'est disponible.

Botanique Graminée vivace, cespiteuse ou stoloifère, jusqu'à 1,5 m de haut ; tige (chaume) ascendante, formant parfois des racines aux nœuds inférieurs. Feuilles alternes, simples et entières ; gaine soyeusement pubescente ; ligule réduite à une membrane ciliée ; limbe linéaire, de 2–30 cm × 3–20 mm, vert pâle à vert clair, plus ou moins poilu. Inflorescence composée de 2–20 grappes portées par un axe central de 3–15 cm de long ; grappes de (1–)2–9(–14) cm de long, portant des épillets solitaires sur un rachis étroitement ailé. Epillet ovale, de 2,5–5,5 mm × 1,5–3 mm, glabre ou poilu, acuminé, à 2 fleurs avec la fleur inférieure mâle et la fleur supérieure bisexuée ; glume inférieure elliptique-oblongue, plus courte que l'épillet, 3-nervée, brillante, glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5-nervée avec des nervures transversales, granuleuse à rugueuse, avec un mucron ; lemme acuminée, coriace, 5-nervée, mucronée, paléole plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) fortement aplati, de couleur chamois ou crème.

Le genre *Urochloa* comprend environ 12 espèces réparties dans les tropiques de l'Ancien Monde, essentiellement en Afrique. Il se distingue du genre apparenté *Brachiaria* par la forme et l'orientation des épillets mais la fron-

tière entre les deux genres reste floue en raison du nombre d'espèces intermédiaires. Il a été proposé d'intégrer presque complètement *Brachiaria* dans le genre *Urochloa*, ce qui ferait d'*Urochloa* un grand genre de 120 espèces, avec une répartition pantropicale. A l'intérieur même d'*Urochloa*, il est parfois difficile de séparer les espèces. *Urochloa mosambicensis* est la contrepartie vivace de l'espèce annuelle *Urochloa trichopus* (Hochst.) Stapf, qui ne possède pas de bourgeons dormants à la base. Le grain d'*Urochloa brachyura* (Hack.) Stapf, espèce répartie en Afrique orientale et australe, est consommé en Namibie ; la plante est aussi pâturée par les animaux.

Les graines d'*Urochloa mosambicensis* germent au début de la saison des pluies et la croissance végétative continue jusqu'à ce que l'eau du sol soit épuisée. La floraison débute 3–4 semaines après le début de la saison des pluies et se prolonge jusqu'à la fin de la croissance. Les graines arrivent à maturité en l'espace de 3–4 semaines. L'espérance de vie des feuilles varie entre 5–25 semaines, en fonction essentiellement de l'approvisionnement en eau. Les plantes ont en général une courte durée de vie (3–4 ans). *Urochloa mosambicensis* est une apomictique obligatoire. Elle a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Dans son aire naturelle, on trouve *Urochloa mosambicensis* jusqu'à 1600 m d'altitude, dans des régions où la moyenne annuelle des précipitations est de 400–1200(–1600) mm, dans les savanes boisées et herbeuses, souvent en milieu perturbé ou dans les zones surpâturées (par ex. les jachères, ou en bord de routes). Il pousse sur une grande variété de sols, mais préfère les sols légers, assez fertiles. Dans le nord de l'Australie, il devient dominant après les incendies.

Gestion Les grains d'*Urochloa mosambicensis* sont en général récoltés dans la nature, mais quelquefois la plante est cultivée dans les jardins à côté du maïs. Le poids de 1000 graines est de 1–1,7 g. Les graines fraîches sont dormantes, mais ce phénomène cesse au bout de 9–12 mois de stockage. La dormance peut être levée par un broyeur à marteaux qui détruit la lemme dure. En Inde, on pratique aussi la multiplication végétative d'*Urochloa mosambicensis*, au moyen de boutures enracinées. Pour les pâturages, un taux de semis de 4 kg/ha est recommandé, ou bien de 2 kg/ha lorsqu'il est associé avec d'autres espèces de pâturages. *Urochloa mosambicensis* vient bien lorsqu'il est cultivé en association avec des légumineuses et il est couramment cultivé avec *Stylosanthes* spp. Pour récolter les grains, on cueille les inflorescences encore légèrement vertes et on les étale au soleil pour les sécher. Une fois secs, les grains sont facilement égrenés par frottage et ils sont moulus. Des rendements en grain de 100–300 kg/ha par an ont été enregistrés en Australie. Pour les pâturages, on obtient des rendements en matière sèche de 1–8 t/ha par an.

Ressources génétiques et sélection Les plus importantes collections de ressources génétiques d'*Urochloa mosambicensis* sont détenues par l'Australie (Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre, Biloela, Queensland, 73 entrées, essentiellement en provenance des pays d'Afrique ; et au CSIRO Townsville Division of Tropical Crops and Pastures, Townsville, Queensland, 63 entrées). En Afrique, 18 entrées sont conservées en Afrique du Sud (Grassland Research Centre, Department of Agricultural Development, Pretoria), 7 entrées en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba) et 7 entrées au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu). Etant donné l'ampleur de sa répartition et son abondance, *Urochloa mosambicensis* n'est pas menacé d'érosion génétique.

La collection détenue à Biloela a fait l'objet d'évaluations pour une série de caractères morphologiques et agronomiques, et une diversité considérable a été mise en évidence en termes de précocité, développement des stolons, taille de la plante et rendement. Des cultivars d'*Urochloa mosambicensis* ont été enregistrés en Australie, tels que 'Nixon' et 'Saraji'.

Perspectives *Urochloa mosambicensis* est une céréale sauvage utile en Afrique australe, mais elle a davantage d'avenir comme plante de pâturage pour les régions tropicales semi-arides. Les qualités nutritionnelles des grains devraient être évaluées par la recherche.

Références principales Burkill, 1994; Clayton, 1989; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; McIvor, 1992; Pengelly & Eagles, 1999.

Autres références Bogdan, 1977; Clayton & Renvoize, 1982; FAO, undated; Gibbs Russell et al., 1990; Mackay, 1974; Prakash & Uniyal, 1980; van Wyk & Gericke, 2000; Veldkamp, 1996a.

Auteurs M. Brink

UROCHLOA TRICHOPUS (Hochst.) Stapf

Protologue Oliv., Fl. trop. Afr. 9(4) : 589 (1920).

Famille Poaceae (Gramineae)

Nombre de chromosomes $2n$ = 14, 28

Origine et répartition géographique *Urochloa trichopus* est réparti dans les régions les plus arides de toute l'Afrique tropicale. Il apparaît également au Yémen et a été introduit au Brésil et en Inde.

Usages Les grains d'*Urochloa trichopus* sont parfois récoltés pour l'alimentation, par ex. au Kordofan (Soudan), en Tanzanie, au Botswana et au Zimbabwe. Au Botswana, ils sont moulus en farine, que l'on peut cuire à l'eau, au lait ou au jus de melon, ou bien transformer en gâteau ; ils servent aussi à fabriquer de la bière. *Urochloa trichopus* est apprécié comme fourrage dans les régions semi-arides ; c'est une plante fourragère au Brésil et en Inde.

Propriétés La valeur fourragère des plantes d'*Urochloa trichopus* au Sahel est : protéines brutes 10,7%, fibres brutes 28,5%, lipides brutes 1,4%, extrait sans azote 45,2%, P 0,19%, K 4,69%, Ca 0,38%, Mg 0,37% et Na 0,02%. Au Botswana, la teneur en protéines brutes d'*Urochloa trichopus* oscille entre 6,2% en saison sèche (juillet) et 10,4% pendant la saison des pluies (janvier), et la digestibilité de la matière sèche varie de 41% en juillet à 57% en janvier. Aucune information sur les caractéristiques nutritionnelles du grain n'est disponible.

Botanique Graminée annuelle grossière, cespiteuse, jusqu'à 1,7 m de haut : tige (chaume) géniculée ascendante, formant souvent des racines aux nœuds inférieurs. Feuilles alternes, simples et entières : gaine glabre à légèrement pubescente ; ligule réduite à une membrane ciliée ; limbe linéaire, de 5–30 cm × 5–20 mm, acuminé, glabre ou poilu. Inflorescence composée de 3–20 grappes portées par un axe central de 4–20 cm de long ; grappes de 1–14 cm de long, portant des épillets solitaires sur un rachis étroitement ailé. Epillet ovale, de 2,5–5,5 mm de long, glabre ou moins souvent poilu, acuminé, à 2 fleurs avec la fleur inférieure mâle et la fleur supérieure bisexuée ; glume inférieure elliptique-oblongue, légèrement plus courte que l'épillet, 3-nervée, glume supérieure aussi longue que l'épillet, 5(–7)-nervée avec des nervures transversales ; lemme acuminée, coriace, 5-nervée, mucronée ; paléole plus courte que la lemme ; étamines 3 ; ovaire supère, à 2 stigmates plumeux. Fruit : caryopse (grain) fortement aplati.

Le genre *Urochloa* compte environ 12 espèces réparties dans les tropiques de l'Ancien Monde, essentiellement en Afrique. Il se distingue du genre apparenté *Brachiaria* par la forme et l'orientation de ses épillets, mais la frontière entre les deux genres est floue en raison du nombre d'espèces intermédiaires. Il a été proposé d'intégrer presque complètement *Brachiaria* dans le genre *Urochloa*, ce qui ferait d'*Urochloa* un grand genre de 120 espèces, avec une répartition pantropicale. A l'intérieur même d'*Urochloa*, il est parfois difficile de séparer les espèces. *Urochloa trichopus* est la contrepartie annuelle de l'espèce vivace *Urochloa mosambicensis* (Hack.) Dandy, qui possède des bourgeons dormants à la base.

Ecologie On trouve *Urochloa trichopus* du niveau de la mer jusqu'à 1500 m d'altitude sous des climats semi-arides, dans des savanes herbeuses et boisées, ainsi qu'en milieu perturbé et comme mauvaise herbe des champs.

Gestion *Urochloa trichopus* est récolté dans la nature. Au Botswana, les grains stockés sont attaqués par des charançons, des fourmis et des rats, mais ils se conservent bien en général. Au Botswana, les grains sont réputés difficiles à battre et à piler. *Urochloa trichopus* est considéré comme une adventice en Ethiopie.

Ressources génétiques et sélection L'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), d'Addis Abeba, Ethiopie, détient 5 entrées d'*Urochloa trichopus* (3 provenant d'Ethiopie ; 2 du Mali). Trois entrées provenant d'Ethiopie sont conservées au Centre international d'agriculture tropicale (CIAT), de Cali, Colombie ; 2 entrées provenant de Tanzanie sont détenues par l'Australian Tropical Crops & Forages Genetic Resources Centre, de Biloela, Queensland. Etant donné sa large répartition, *Urochloa trichopus* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Urochloa trichopus* est une source précieuse de nourriture et de fourrage dans les régions semi-arides d'Afrique tropicale, mais il est peu probable qu'il gagne en importance. En tant que céréale, tant la petite taille du grain que les difficultés de sa transformation sont de sérieux obstacles. Son rôle comme plante de pâturage demeurera probablement modeste comparé à celui de sa contrepartie vivace et plus persistante *Urochloa mosambicensis*.

Références principales Burkill, 1994; Clayton & Renvoize, 1982; Gibbs Russell et al., 1990; Modiakgotla et al., 1999; Phillips, 1995.

Autres références Bartha, 1970; Clayton,

1972; Clayton, 1989; Cope, 1995; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Longhi-Wagner & de Oliveira, 2002; Pratchett, 1983; Trouin, 1970; Veldkamp, 1996a.

Auteurs M. Brink

VATOVAEA PSEUDOLABLAB (Harms) J.B.Gillett

Protologue Kew Bull. 20(1) : 104 (1966).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Origine et répartition géographique *Vatovaea pseudolablab* se rencontre à l'état sauvage dans les zones sèches du Soudan, d'Ethiopie, de Somalie, du Kenya, d'Ouganda et de Tanzanie ; on le trouve aussi au Yémen et à Oman.

Usages Les graines de *Vatovaea pseudolablab* se consomment soit crues, soit après avoir été cuites à l'eau ou grillées. Les gousses immatures, les fleurs et les feuilles se consomment crues ou cuites comme légume. Les racines tubérisées et juteuses sont comestibles et se consomment soit crues soit cuites à l'eau ou grillées. Elles se consomment parfois comme amuse-gueule, surtout grillées ; elles tiennent lieu aussi d'aliment de disette et sont source d'eau. La farine que l'on tire des racines est mélangée à de la farine de sorgho pour confectionner une bouillie épaisse. On la conserve d'ordinaire pour l'utiliser pendant les périodes maigres. Ce sont les paysans qui cultivent *Vatovaea pseudolablab* et le consomment couramment, mais pendant les périodes de disette, les gens qui en dépendent pour leur alimentation quotidienne sont plus nombreux. La plante est consommée par le bétail, les chèvres, les moutons, les chameaux et les ânes. Avec les fibres racinaires, on fabrique des cordes, des chapeaux et des chasse-mouches.

Propriétés Les racines tubérisées de *Vatovaea pseudolablab* sont fibreuses et contiennent beaucoup de jus ; elles ont une agréable saveur sucrée, même consommées crues.

Botanique Liane ou arbuste atteignant 1,5(–3) m de haut ; tige ramifiée, glabre à légèrement pubescente ; racines tubérisées. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules oblongues, d'environ 3,5 mm × 1,5 mm ; pétiole jusqu'à 6 cm de long, côtelé, rachis jusqu'à 2 cm de long ; stipelles petites ; pétiolules de 1–2 mm de long ; folioles ovales à étroitement ovales-rhomboïdes, atteignant 8 cm × 6,5 cm, parfois légèrement 3-lobées, glabres à légèrement pubescentes. Inflorescence : fausse grappe axillaire atteignant 50 cm de long, pubescente, à nombreuses fleurs ; pédoncule de 6–21 cm de long ; bractées jusqu'à 2 mm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle d'environ 3 mm de long ; calice d'environ 5 mm de long, 5-lobé, à 2 lèvres, les 3 lobes inférieurs triangulaires-arrondis, les 2 lobes supérieurs réunis ; corolle d'un violet verdâtre, étendard de 1–2 cm × 1,5–2 cm, émarginé, pourvu de 2 appendices à la base, ailes munies d'un long éperon étroit, carène incurvée ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, linéaire, 1-loculaire, style long, arqué, généralement poilu à l'intérieur vers l'apex et muni d'un appendice réfléchi au-dessus du stigmate. Fruit : gousse linéaire-oblongue de 4,5–6 cm × 0,5–1 cm, courbe, aplatie, s'élargissent vers l'apex, déhiscente, d'abord à pubescence soyeuse, puis glabrescente, contenant jusqu'à 8 graines. Graines presque globuleuses à irrégulièrement ellipsoïdes ou quasi carrées, de 4,5–7 mm × 4,5–6,5 mm × 2,5–3 mm, brunes, parfois mouchetées de noir.

Le genre *Vatovaea* ne comprend qu'une seule espèce. *Vatovaea pseudolablab* devient ligneux, mais les plantes peuvent fleurir alors qu'elles sont encore pratiquement herbacées ; elles sont essentiellement autogames.

Ecologie *Vatovaea pseudolablab* est présent jusqu'à 1500 m d'altitude dans les savanes herbeuses sèches ou les savanes arbustives dans les régions où la pluviométrie annuelle est de 250–600 mm, souvent le long des coulées de lave ou des fossés de drainage, parfois dans les savanes herbeuses périodiquement humides sur argile.

Gestion *Vatovaea pseudolablab* se récolte généralement dans la nature, mais on le sème aussi, rarement comme au Kenya. En Ethiopie, il est semi-domestiqué par les paysans du Konso, qui le maintiennent dans leurs champs en association avec d'autres cultures vivrières. *Vatovaea pseudolablab* peut se multiplier par graines. Les racines tubérisées s'arrachent à n'importe quel moment de l'année, mais il vaut mieux les récolter lorsque le feuillage a fané. Pour produire la farine, les racines sont pelées, coupées en morceaux, séchées et moulues.

Ressources génétiques et sélection Les populations de *Vatovaea pseudolablab* disparaissent en Afrique de l'Est et dans la péninsule Arabique parce c'est un aliment apprécié tant par les hommes que par le bétail. Son pool génétique risque de se réduire rapidement si on ne fait rien. Deux entrées de *Vatovaea pseudolablab* sont conservées en Ethiopie à

l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI) d'Addis Abeba.

Perspectives *Vatovaea pseudolablab* est une plante polyvalente utile pour les régions arides et dont le potentiel semble intéressant à exploiter. Il est recommandé de commencer à prospecter et évaluer les ressources génétiques et de tester les introductions pour voir comment elles se comportent au champ. Le matériel prometteur devrait ensuite être multiplié. Des recherches doivent en outre être menées sur l'agronomie de la plante et sur ses propriétés nutritionnelles.

Références principales Beentje, 1994; Gillett et al., 1971; Maundu, Ngugi & Kabuye, 1999; Schippers, 2000; Thulin, 1993.

Autres références African Studies Center, undated; Gillett, 1966; Huxham et al., 1998; ILDIS, 2002; IPGRI, undated; Maundu, 1997; Morgan, 1981; Thulin, 1989a; Thulin, 1989b.

Auteurs M. Brink

VICIA FABA L.

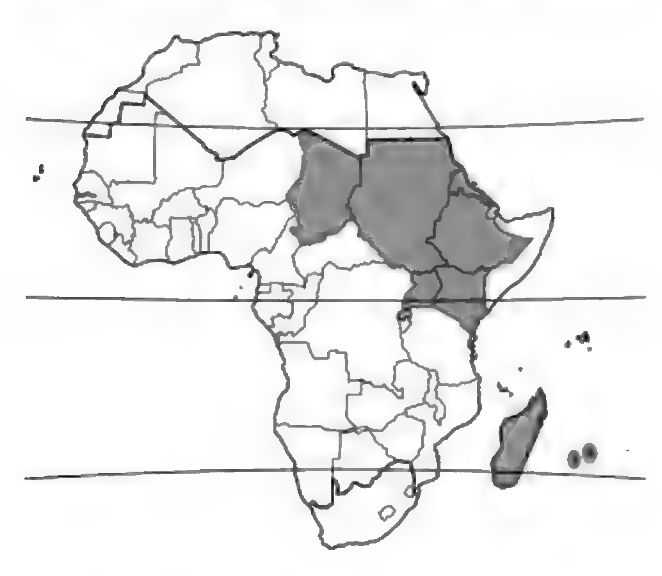
Protologue Sp. pl. 2: 737 (1753).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 12$

Noms vernaculaires Fève, fève de(s) marais, fèverole, fèvette, gourgane (Fr). Faba bean, broad bean, horse bean, field bean, tick bean (En). Faveira, fava (Po).

Origine et répartition géographique On ne connaît la fève que cultivée. Son centre d'origine et de domestication se trouve probablement en Asie occidentale, d'où elle s'est diffusée en Europe, en Afrique et en Asie centrale.



Vicia faba – planté

L'Ethiopie et l'Afghanistan sont considérés comme des centres secondaires de diversité. La domestication de la fève a eu lieu entre 7000 et 4000 avant J.-C., et au 3e millénaire avant J.-C. elle était largement répartie en Méditerranée. L'évolution vers des types à grosses graines, survenue bien plus tard (vers 500 après J.-C.), pourrait avoir eu lieu en Asie occidentale et en Méditerranée. Il est probable que la fève n'ait pas été cultivée de manière importante au Japon et en Chine avant l'an 1200 de notre ère, ni dans les Amériques avant l'arrivée des Espagnols. De nos jours, la fève se cultive largement dans les régions tempérées et subtropicales, ainsi qu'en altitude sous les tropiques. En Afrique tropicale, c'est surtout dans la partie orientale qu'on la trouve, en particulier au Soudan et en Ethiopie.

Usages La fève se cultive en plein champ pour ses graines mûres et sèches, et en jardin potager pour ses graines ou ses gousses immatures. En Ethiopie, dans les pays méditerranéens, au Proche-Orient et en Chine, les graines mûres et sèches sont un aliment très répandu, et dans de nombreux pays, ce sont les graines vertes que l'on consomme, cuites à l'eau ou crues, comme légume. Dans les pays méditerranéens et en Inde, on consomme les gousses immatures entières. En Ethiopie et en Erythrée, sur la liste des plats principaux, figurent le "shiro wot" (graines décortiquées broyées et préparées en sauce), le "kik wot" (graines décortiquées et cassées cuites à l'eau et préparées en sauce), et le "ful" (graines décortiquées et cuites à l'eau, que l'on relève d'épices et que l'on hache avec du beurre). Il y a aussi des amuse-gueule comme l' "eshet" (graines fraîches vertes consommées crues ou grillées), le "kolo" (graines séchées grillées), le "nifro" (graines vertes sèches ou fraîches cuites à l'eau), le "gunkul" (graines mises à tremper et à germer, puis grillées), l' "ashuk" (graines préalablement grillées puis mises à tremper) et l' "endushdush" (graines trempées d'abord puis grillées). Dans tout le monde arabe, les graines de fèves se consomment hachées avec de l'oignon, de l'ail et des herbes aromatiques ; connu sous le nom de "ful medames", ce plat se déguste au petit déjeuner. Les graines se mangent en ragoût à n'importe quel moment de la journée ; on en fait une pâte qui sert souvent comme garniture de sandwich.
Les graines mûres et les parties végétatives de la fève servent de concentré, de foin ou d'ensilage pour les animaux domestiques. En Ethiopie, la paille s'emploie comme combusti-

ble pour faire la cuisine. La tige et les feuilles s'utilisent comme engrais vert, par ex. en Chine. En Chine, graines et parties végétatives possèdent toutes sortes d'applications médicinales. En Europe, on frotte l'intérieur des gousses vertes sur les verrues pour les faire disparaître.

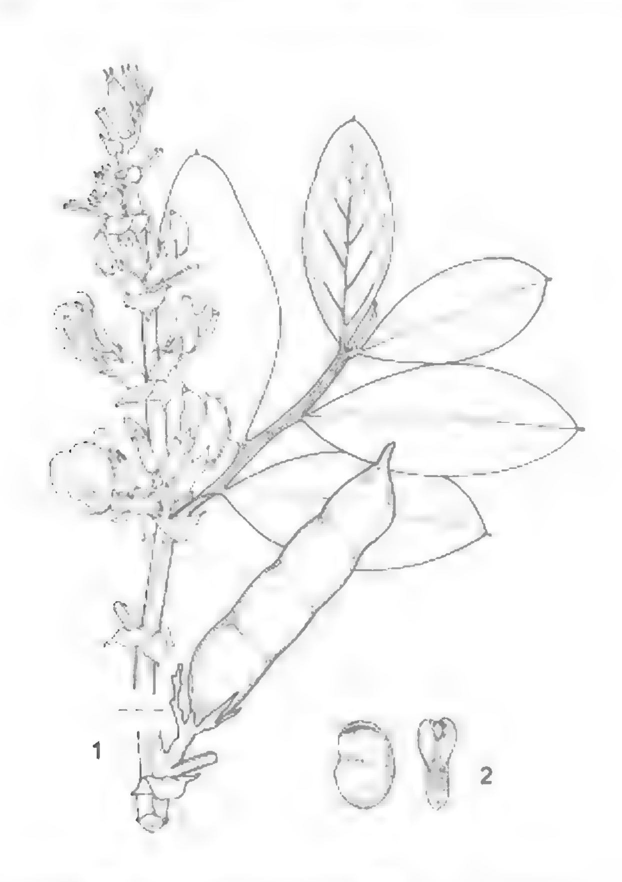
Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale de fèves sèches en graines en 1999–2003 s'élevait à 3,9 millions de t/an sur 2,6 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont la Chine (1,9 million de t/an sur 1,2 million d'ha), l'Ethiopie (405 000 t/an sur 370 000 ha), l'Egypte (396 000 t/an sur 134 000 ha) et l'Australie (242 000 t/an sur 164 000 ha). La production annuelle en Afrique subsaharienne en 1999–2003 a été estimée à 510 000 t, et provient presque entièrement d'Ethiopie (405 000 t) et du Soudan (100 000 t). La production mondiale annuelle de fèves sèches a chuté, passant de 5 millions de t (sur 5 millions d'ha) au début des années 1960 à environ 4 millions de t (sur 2,7 millions d'ha) au début des années 2000. La réduction de la superficie cultivée en Chine, d'environ 3,5 millions d'ha au début des années 1960 à près de 1,25 million d'ha au début des années 2000, explique la plus grande partie de la réduction de la production. Par contraste, la production annuelle en Afrique subsaharienne au cours de la même période a augmenté, passant de 230 000 t (250 000 ha) à 540 000 t (450 000 ha). La production mondiale de fèves vertes (en graines) en 1998–2003 a été évaluée à 940 000 t/an sur 2,6 millions d'ha, les plus gros producteurs étant l'Algérie (118 000 t/an), la Chine (114 000 t/an) et le Maroc (112 000 t/an) ; en Afrique tropicale, cette production de fèves vertes est négligeable.

Les exportations mondiales de fèves sèches en 1998–2002 se sont élevées à 475 000 t. Les principaux pays exportateurs étaient l'Australie (201 000 t), le Royaume-Uni (114 000 t), la Chine (63 000 t) et la France (53 000 t). A la même période, les principaux importateurs étaient l'Egypte (197 000 t), l'Italie (169 000 t) et l'Espagne (52 000 t). Les exportations des pays africains sont négligeables.

Propriétés La composition des graines mûres crues de fève, par 100 g de partie comestible, est : eau 11,0 g, énergie 1425 kJ (340 kcal), protéines 26,1 g, lipides 1,5 g, glucides 58,3 g, fibres alimentaires 25,0 g, Ca 103 mg, Mg 192 mg, P 421 mg, Fe 6,7 mg, Zn 3,1 mg, vitamine A 53 UI, thiamine 0,56 mg, riboflavine 0,33 mg, niacine 2,8 mg, vitamine B_6 0,37 mg, folates 423 μg et acide ascorbique 1,4 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 247 mg, lysine 1671 mg, méthionine 213 mg, phénylalanine 1103 mg, thréonine 928 mg, valine 1161 mg, leucine 1964 mg et isoleucine 1053 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 581 mg, acide oléique 297 mg et acide palmitique 204 mg (USDA, 2004).

Chez certaines personnes génétiquement prédisposées, qui vivent surtout dans la région méditerranéenne, la consommation de graines de fève, surtout immatures, et même l'inhalation de pollen, provoque le "favisme", une sorte d'anémie hémolytique résultant de l'accumulation de β-glycosidase (vicine et convicine) et de leurs aglycones chez des personnes dont les globules rouges ont une déficience de l'enzyme glucose-6-phosphate déshydrogénase. Un trempage avant la cuisson désactive les substances toxiques. Parmi les autres facteurs antinutritionnels chez la fève, il faut citer les inhibiteurs de trypsine, les lectines (hémagglutinines), les tanins, les oligosaccharides et les phytates. Les graines de fève ont des effets réducteurs de lipides chez les humains et les rats. Les protéines isolées des graines ont fait ressortir une activité antioxydante, une lectine, l'agglutinine, pouvant quant à elle ralentir la progression du cancer du colon. La paille de fève, qui possède une forte teneur en protéines (5–20%) et une bonne digestibilité (50% de la matière sèche), est un bon aliment pour les animaux. La teneur élevée en tanin dans les graines (jusqu'à 9%) leur procure un goût amer lorsqu'on les donne crues aux animaux, mais on a mis au point des cultivars à faible teneur en tanin (1%) et à digestibilité élevée.

Description Plante herbacée annuelle, érigée, vigoureuse, raide et glabre, atteignant 2 m de haut ; tige trapue, carrée, creuse et pourvue d'un ou plusieurs rameaux à la base ; racine pivotante bien développée, à racines latérales vigoureuses. Feuilles alternes, paripennées, à 2–6 folioles, sans vrille, mais rachis terminé par un court acumen ; stipules bien visibles, largement variables en forme, dentées ; folioles ovales à elliptiques, de (3–)4–8(–10) cm × 1–2(–4) cm, entières. Inflorescence : courte grappe axillaire, sessile, à 1–6 fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées, presque sessiles ; calice campanulé, à 5 lobes, tube d'environ 7 mm de long, lobes presque égaux, étroitement triangulaires, de 2–8 mm de long ; corolle blanche, marquée



Vicia faba – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, graines.
Source: PROSEA

d'une tache brun foncé, odorante, étendard largement ovale, d'environ 2,5 cm × 1,5 cm, proche de la carène, ailes oblongues-ovales, d'environ 2,5 cm × 0,5 cm, carène d'environ 1,5 × 0,5 cm ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre, d'environ 15 mm de long, anthères ellipsoïdes à ovoïdes, d'environ 1 mm de long, brun foncé ; ovaire supère, sessile ou presque, très mince, comprimé, d'environ 1,5 cm de long, style brusquement retroussé, d'environ 3 mm de long, garni d'une touffe de poils près du stigmate glanduleux-papilleux. Fruit : gousse étroitement oblongue, cylindrique à aplatie, de (3–)5–10(–30) cm × 1–1,5(–3) cm, renflée au niveau des graines, légèrement pubescente à maturité, pourvue d'un bec, à 2–6 graines. Graines ovoïdes à oblongues, comprimées, de 1–3 cm de diamètre, brunes, rougeâtres ou vertes ; hile étroitement oblong. Plantule à germination hypogée.

Autres données botaniques Le genre *Vicia* comprend environ 120 espèces, réparties principalement dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord et de l'Amérique du Sud, avec quelques espèces en Afrique. *Vicia faba* est une espèce unique dans le genre : ses chromosomes sont plus grands mais moins nombreux, et elle possède la quantité d'ADN la plus élevée (environ 13 000 Mpb). Malgré de nombreuses tentatives, on n'est parvenu à croiser *Vicia faba* avec aucune autre espèce de *Vicia*. Des travaux morphométriques et d'électrophorèse des protéines des graines ont fait ressortir des différences marquées entre *Vicia faba* et ses cousins sauvages (*Vicia narbonensis* L., *Vicia galilaea* Plitmann & Zohary et *Vicia hyaeniscyamus* Mouterde).

La taxinomie infraspécifique de *Vicia faba* prête à confusion. Plusieurs variétés ont été distinguées, sur la base de la morphologie et de la taille des graines. Les cultivars à petites graines arrondies sont souvent nommés fèvettes ou fèveroles ("tick bean"), ceux de taille intermédiaire fèveroles ("horse bean") et ceux à grosses graines aplaties fèves proprement dites ("broad bean"). Cependant, il n'existe aucune discontinuité dans la taille des graines entre ces groupes et ils se croisent librement. De façon arbitraire, on admet que les types à petites graines ont un poids de 1000 graines inférieur à 700 g, les types à graines moyennes faisant 700–1200 g, et ceux à grosses graines plus de 1200 g.

Vicia sativa L. est largement cultivée comme plante fourragère. Une consommation de ses graines, de ses jeunes tiges et de ses jeunes feuilles par les humains a été signalée en Ethiopie et dans le Caucase. Mais les graines et le foin peuvent avoir des effets toxiques (empoisonnement à HCN dû à un hétéroside cyanogénique, la vicianine ; effets antinutritionnels de la β-cyanoalanine). Les graines de *Vicia villosa* Roth, cultivé pour son fourrage en Afrique de l'Est, et celles de *Vicia paucifolia* Baker seraient elles aussi récoltées et consommées. *Vicia monantha* Retz. (jarosse) a été cultivé, au moins dans le passé, dans les oasis du Sahara. Cependant, les graines de nombreuses espèces de *Vicia*, dont *Vicia villosa* et *Vicia monantha*, sont connues pour contenir de la canavanine, composé toxique analogue de l'arginine.

Croissance et développement Cinq stades principaux ont été distingués pour caractériser le développement de la fève : germination et levée, développement végétatif, développement reproductif, sénescence de la gousse et sénescence de la tige. Le développement végétatif se poursuit après que le développement reproductif ait commencé, ce qui signifie que les deux stades se déroulent en même temps. Le démarrage de la floraison est fortement lié aux conditions du milieu (température, photopériode) et peut survenir entre 1 et 7–8 mois après le se-

mis. Les longues durées concernent les cultures d'hiver des régions tempérées. La floraison débute en moyenne au niveau du 7[e] nœud et continue jusqu'aux 20 nœuds suivants. Le régime reproductif de la fève est intermédiaire entre l'autogamie et l'allogamie. On a fait état de taux d'allogamie atteignant 92%, mais il se situe surtout entre 20% et 50%. La pollinisation est favorisée par les insectes. La durée du cycle cultural va de 3 mois (au Soudan, au Canada) à 11 mois (au nord-ouest de l'Europe). En Ethiopie, le cycle est de 3–7 mois. La nodulation de la fève se réalise efficacement avec *Rhizobium leguminosarum*.

Ecologie La fève se cultive dans les régions tempérées, comme une culture d'hiver dans les régions subtropicales, et comme une culture de haute altitude sous les tropiques. Elle ne convient pas aux basses terres tropicales, où elle fleurit mais ne produit en général pas de gousses. Une température quotidienne moyenne aux alentours de 13°C est optimale pour sa croissance. En Ethiopie, la fève est cultivée à 1300–3800 m d'altitude, mais le plus souvent à 2000–2500 m. En dessous de 1800 m, la rouille est la principale contrainte de production, et le gel au-dessus de 3000 m. La fève nécessite une pluviométrie annuelle de 700–1000 mm, dont plus de 60% doit tomber pendant la période de croissance. Les jours longs raccourcissent le temps que la plante met à fleurir et réduisent la position du premier nœud de floraison (comme chez les cultivars d'Europe du Nord), mais au champ, on observe souvent une indifférence à la longueur du jour. La fève préfère les sols bien drainés, presque neutres (au pH de 6,5–7,5), à fertilité moyenne. Elle ne tolère pratiquement pas l'asphyxie racinaire ou la sécheresse.

Multiplication et plantation La fève se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 400–2000 g. Le lit de semis de la fève n'a pas besoin d'être fin, mais la terre doit être ameublie par un labour. C'est une plante qui se sème à la volée ou en lignes ; en agriculture mécanisée, le semoir s'emploie couramment. La profondeur de semis est de 2–5 cm. Les densités de semis varient beaucoup ; des quantités plus importantes sont nécessaires dans les régions froides de haute altitude des tropiques, où la croissance se fait plus lentement que dans les zones chaudes de moyenne altitude. En Ethiopie, des densités de semis jusqu'à 150–200 kg/ha sont recommandées, de 70–120 kg/ha au Soudan et de 95–100 kg/ha en Egypte. Les espacements diffèrent d'un endroit à l'autre. En Ethiopie, il est recommandé d'espacer les lignes de 40 cm et les plantes sur la ligne de 5 cm. Au Soudan, la distance recommandée est de 20–40 cm entre les lignes, avec 5–20 cm sur la ligne, à raison de 1–3 plantes par poquet. Mais au Soudan, en Ethiopie et en Erythrée, les petits paysans pratiquent le semis à la volée. En Egypte, le semis sur billons est une pratique courante. Si l'on veut semer de part et d'autre des billons, le mieux est de laisser 60 cm entre ceux-ci et 15–20 cm entre les poquets, avec 2 graines par poquet. En Ethiopie, les dates de semis se situent souvent à la mi-juin pour les régions de moyenne altitude et de fin juin à début juillet pour les régions de haute altitude. En Egypte et au Soudan, le semis peut démarrer à la mi-octobre et se poursuivre jusqu'à fin novembre. La fève se cultive seule ou en association, par ex. avec des pois en Ethiopie, de la canne à sucre en Egypte et diverses espèces en Chine (blé, colza, coton et orge).

Gestion La fève est sensible à la compétition des mauvaises herbes, qu'il est nécessaire de juguler rigoureusement pendant les 3–8 semaines après la levée des plantules. La lutte contre les adventices se pratique à la main ou avec des herbicides. Un ou 2 désherbages manuels peuvent être nécessaires, le premier à 3–4 semaines après la levée, le second à 6–8 semaines. La fève se cultive sous irrigation en Egypte et au Soudan, alors qu'en Ethiopie et en Erythrée elle dépend entièrement des pluies. En présence de *Rhizobium leguminosarum*, l'épandage d'azote est facultatif, mais dans certains pays, on applique 30–40 kg N/ha pour faciliter le démarrage. On a noté pour la fève des taux de fixation d'azote atmosphérique de 45–550 kg N par ha et par an (la moyenne se situant aux alentours de 200 kg). Dans les régions où les bactéries sont absentes, on peut opter pour l'inoculation des semences. La plupart des petits paysans éthiopiens n'ont pas recours aux engrais chimiques. Des expérimentations conduites en Ethiopie ont montré que la réponse aux engrais azotés était faible ou absente, mais que des applications de P entraînaient souvent une augmentation significative des rendements. Au Soudan, la fève ne répond pas en général aux applications de N et de K, en raison de la présence de bactéries fixatrices d'azote et d'un fort taux de K se trouvant déjà dans le sol. Cependant, P est limitant car les sols sont alcalins (pH>8) et le P n'est que peu disponible pour la culture. C'est pourquoi on préconise l'épandage de P à proximité du sys-

tème racinaire. En Egypte, on applique 36 kg de N et 30 kg de P par ha pour les cultivars traditionnels (qui produisent environ 2,5 t/ha) ; quant aux cultivars améliorés (produisant jusqu'à 5 t/ha), des fumures de surfaces supplémentaires (à 40 jours et 70 jours après le semis) de 50 kg de K par ha sont recommandées, ainsi qu'une pulvérisation de micronutriments de 60 g de Zn, 40 g de Mn et 20 g de Fe par ha. La fève joue un rôle important dans la gestion de la fertilité du sol en tant que culture de rotation ; elle est souvent cultivée en rotation avec des céréales, en particulier du blé ou de l'orge.

Maladies et ravageurs Les maladies fongiques les plus importantes de la fève sont la maladie des taches chocolat (*Botrytis fabae* et *Botrytis cinerea*), l'ascochytose (*Didymella fabae* ; synonyme *Ascochyta fabae*), la rouille (*Uromyces viciae-fabae*), et la pourriture noire des racines (*Fusarium* spp.). On a signalé que la maladie des taches chocolat et la rouille sont la cause d'au moins 50% de pertes de rendement en Egypte. Les mesures de lutte proposées comprennent le recours à des cultivars résistants, les pratiques culturales (rotation des cultures, drainage, semences saines, brûlage des résidus de plantes) et les fongicides. Les maladies virales importantes de la fève sont le virus de la mosaïque jaune du haricot (BYMV), le virus de l'enroulement des feuilles du haricot (BLRV) et le virus des taches de la fève (BBSV). Les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.), les nématodes de la tige (*Ditylenchus dipsaci*) et les nématodes des lésions de racines (*Pratylenchus* spp.) affectent également la fève.

Les pucerons (*Aphis craccivora*, *Aphis fabae* et *Acyrthosiphon pisum*) sont les principaux insectes ravageurs de la fève, par ex. au Soudan et en Egypte. D'autres ravageurs sont le sitone du pois (*Sitona lineatus*), la foreuse des gousses (*Helicoverpa armigera*), le sitone des nodules racinaires (*Sitona amurensis*), les vers gris (*Agrotis* spp.), la mineuse des feuilles (*Liriomyza congesta*) et la noctuelle de la betterave (*Spodoptera exigua*). Les bruches (*Bruchus* et *Callosobruchus* spp.) constituent les principaux ravageurs des greniers, par ex. en Ethiopie.

En Europe, au Proche-Orient et en Afrique du Nord, la plante parasite *Orobanche crenata* Forssk. (orobanche du haricot) pose un problème très sérieux. Il n'existe aucun moyen de lutte.

Récolte La fève se récolte avant sa pleine maturité physiologique, car l'égrenage des gousses et leur pourrissement pourraient être la conséquence d'une récolte tardive, en particulier lorsque la pluie survient. Le meilleur stade est lorsque les feuilles et les gousses se dessèchent et que la teneur en humidité des graines n'est plus que de 16–18%. La fève peut se récolter à la moissonneuse-batteuse, mais en Afrique tropicale la récolte manuelle est d'usage courant. On arrache les plantes ou on les coupe à l'aide d'un petit couteau ou d'une faucille. La récolte se fait généralement tôt le matin ou en fin d'après-midi, pour diminuer les pertes dues à l'égrenage. Les plantes récoltées sont disposées en petits tas et laissées à sécher au champ pendant quelques jours. Puis on les transporte à l'aire de battage.

Rendements En Afrique, le rendement moyen en graines de la fève (1,3 t ha/ha) est inférieur à la moyenne mondiale (1,5 t/ha), tandis que les rendements moyens obtenus en Asie (1,7 t/ha) et en Europe (2,2 t/ha) sont supérieurs. Des rendements exceptionnellement élevés sont obtenus en Egypte et au Soudan, où la culture se fait sous irrigation (3,0 et 2,3 t/ha, respectivement).

Traitement après récolte Le battage de la fève se fait traditionnellement au bâton ou par foulage d'animaux. Les graines doivent être conservées au sec et à l'abri de la chaleur, des ravageurs et de l'humidité qu'elles pourraient absorber. Il est important de procéder auparavant au nettoyage des graines et des sites de stockage. Des graines dont la teneur en humidité est de 11–14% peuvent se conserver 2–7 ans à des températures de 5–10°C, et 1–4 ans à 10–20°C.

Ressources génétiques Plus de 25 000 entrées de fève sont actuellement conservées dans différents pays. Le Centre international de recherche agricole sur les régions arides (ICARDA) d'Alep (Syrie) détient environ 10 700 entrées de fève et 5900 entrées d'espèces sauvages de *Vicia*. D'autres importantes collections sont détenues en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), à Pékin ; 3800 entrées) et en Australie (Australian Temperate Field Crops Collection, Horsham ; 2200 entrées). La plus grande collection de ressources génétiques de fève en Afrique (2000 entrées) est conservée à l'Institute of Biodiversity Conservation (IBC), d'Addis Abeba (Ethiopie). Ces collections comportent des sources de résistance multiple aux maladies, des formes sauvages et primitives, des lignées porteuses de mutations structurelles, des lignées de sélection et des cultivars présentant un intérêt par-

ticulier. La diversité disponible dans le monde entier chez la fève n'a pas encore été correctement échantillonnée, et les collections disponibles n'ont pas été suffisamment caractérisées. Au stockage, les graines de fève se comportent de façon orthodoxe.

Sélection Les objectifs prioritaires des programmes d'amélioration génétique de la fève sont le rendement élevé et la résistance ou la tolérance aux stress biotiques et abiotiques. Certains efforts entrepris pour améliorer le potentiel de rendement des types classiques indéterminés sont prometteurs. Des sources de résistance à la maladie des taches chocolat, à l'ascochytose et à la rouille identifiées à l'ICARDA ont été utilisées dans de nombreux programmes nationaux d'amélioration génétique de la fève. L'Australie a mis sur le marché des cultivars résistants à la maladie des taches chocolat et à l'ascochytose. En Ethiopie, les cultivars 'Wayu' et 'Selale', résistants à la pourriture noire sur les vertisols engorgés, ont été récemment commercialisés. En Ethiopie et en Egypte, plus d'une dizaine de cultivars destinés à différentes conditions agroécologiques ont été mis sur le marché, et 7 au Soudan. L'obtention de graines de qualité pour l'exportation (graines de grande taille) a récemment retenu l'attention dans des programmes de sélection en Chine et en Ethiopie. Les tentatives pour créer des cultivars de fèves hybrides n'ont pas encore réussi, en raison de l'absence d'un système efficace de stérilité mâle. On n'a pas réussi non plus jusqu'à maintenant à transformer par mutagenèse le port indéterminé et obtenir des types à port déterminé et à haut rendement.
Une formation de cal in vitro et la régénération de la plante ont été réalisées avec des explants d'hypocotyle, de cotylédon et d'embryon. Des lignées de fèves transformées stables ont été produites à l'aide d'un système de transfert de gènes avec *Agrobacterium*. Des cartes de liaison génétique du génome de la fève ont été établies sur la base des marqueurs morphologiques, des isozymes, des RAPD, des gènes de protéines des graines et des microsatellites. Un gène responsable de la résistance à la rouille a été identifié, et on a pu situer des locus de caractères quantitatifs associés au poids des graines, à la résistance à l'ascochytose et à la résistance à l'orobanche du haricot. La présence de vicine et de convicine dans les graines de fève est déterminée par un gène récessif unique qui réduit leur teneur de 20 fois. Cependant, c'est le même gène qui augmente la sensibilité aux agents pathogènes et aux parasites. Deux gènes récessifs éliminent la production de tanin chez la fève.

Perspectives La productivité de la fève est bien en dessous de son potentiel dans de nombreux pays d'Afrique tropicale en raison des limitations biologiques des cultivars traditionnels et de pratiques culturales médiocres. Mais la fève continuera à être une plante agricole importante dans certaines régions d'Afrique tropicale. Il existe une forte demande à l'export et des marchés régionaux sont en train d'apparaître, par ex. entre l'Ethiopie (exportatrice) et le Soudan et l'Egypte (importateurs). Outre les besoins émanant de l'environnement physique, des systèmes agricoles et des préférences des consommateurs locaux, les normes et critères de qualité pour l'export méritent également d'être pris en compte comme priorités pour la recherche. Certains pays comme la Chine ont entrepris de mettre au point des types nouveaux de plus grande valeur, dont la couleur, l'odeur et la saveur sont supérieures, et il est possible que ces tentatives, combinées à la riche diversité génétique disponible, débouche sur de nouvelles opportunités.

Références principales Enneking, 1995; Hawtin & Webb (Editors), 1982; Hebblethwaite (Editor), 1983; Jansen, 1989e; Jellis, Bond & Boulton, 1998; Knight (Editor), 2000; Knott, 1990; Lang et al., 1993; Muehlbauer & Kaiser (Editors), 1994; Thulin, 1989a.

Autres références Bond, 1995; Bond et al., 1985; Böttinger et al., 2001; Ghizaw et al., 1999; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; ILDIS, 2002; Kay, 1979; Madar & Stark, 2002; Maxted, 1995; McPhee & Muehlbauer, 2002; Polhill, 1990; Purseglove, 1968; Román et al., 2004; Singh & Saxena (Editors), 1993; Smartt, 1976; Summerfield (Editor), 1988; Tindall, 1983; USDA, 2004; Westphal, 1974; Zemede Asfaw & Mesfin Tadesse, 2001.

Sources de l'illustration Jansen, 1989e.

Auteurs M. Jarso & G. Keneni

VICIA HIRSUTA (L.) Gray

Protologue Nat. arr. Brit. pl. 2: 614 (1821).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 14$

Noms vernaculaires Ers velu, vesceron, vesce hérissée (Fr). Hairy tare, tiny vetch, hairy vetch (En). Cigerão (Po).

Origine et répartition géographique *Vicia*

hirsuta est largement réparti en Europe, en Asie et en Afrique. En Afrique, il est indigène depuis l'Afrique du Nord en passant par la R.D. du Congo et l'Afrique de l'Est jusqu'à l'Angola et l'Afrique du Sud. Il est souvent introduit et naturalisé ailleurs, par ex. dans les îles de l'océan Indien. *Vicia hirsuta* est parfois cultivé comme légume sec ou comme plante fourragère en Inde et a été jadis cultivé en Europe orientale.

Usages Les graines de *Vicia hirsuta* sont ramassées dans la nature et consommées cuites ou grillées en Ethiopie. Elles étaient consommées en cas de famine en Europe et en Asie. Les feuilles et les pousses servent de légume en Ethiopie. *Vicia hirsuta* est aussi une plante fourragère.

Propriétés Les graines de *Vicia hirsuta* contiennent des inhibiteurs de trypsine, mais si on les chauffe pendant 20 minutes à 100°C à un pH 2,0, on réduit l'activité inhibitrice de la trypsine de 50%. Les graines contiennent également un acide aminé non protéique, la canavanine, qui est un analogue toxique de l'arginine.

Botanique Plante herbacée annuelle rampante ou grimpante jusqu'à 90 cm de haut ; tige glabre ou finement poilue. Feuilles alternes, paripennées, à 6–20 folioles ; stipules semi-sagittées, de 2–15 mm × 1,5–2,5 mm, la partie supérieure entière, la partie inférieure profondément divisée en 2–3 segments filiformes ; pétiole de 0–5(–10) mm de long, rachis généralement terminé par une vrille ramifiée ; pétiolules d'environ 0,5 mm de long ; folioles linéaires ou étroitement oblongues, de 4–20 mm × 1–3 mm, presque glabres. Inflorescence : grappe axillaire de 2–6 cm de long, à 2–7 fleurs ; pédoncule de 0,5–4 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 0,5–2 mm de long ; calice 5-lobé, pubescent, à tube de 1(–2,5) mm de long et à lobes de 1,5–2,5 mm de long ; corolle blanche, rose ou bleu pâle, étendard obovale, de 3–5 mm × 2 mm, ailes et carène légèrement plus courtes ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, poilu, 1-loculaire, style court, courbé, stigmate petit. Fruit : gousse oblongue de 6–10 mm × 3–4 mm, comprimée, velue, déhiscente, contenant (1–) 2(–3) graines. Graines globuleuses, de 2–3 mm de diamètre, marron foncé ou mouchetées de marron clair et foncé. Plantule à germination hypogée.

Le genre *Vicia* comprend environ 120 espèces, réparties essentiellement dans les régions tempérées de l'hémisphère Nord et de l'Amérique du Sud, avec quelques espèces en Afrique. *Vicia hirsuta* nodule efficacement avec *Rhizobium leguminosarum*.

Ecologie En Afrique de l'Est, on trouve *Vicia hirsuta* dans les savanes herbeuses, les savanes arbustives, en lisière de forêt et dans les plaines volcaniques à 2000–3500 m d'altitude. *Vicia hirsuta* est une plante de jours longs. Dans de nombreux pays, il est considéré comme adventice.

Ressources génétiques et sélection Les plus importantes collections de ressources génétiques de *Vicia hirsuta* sont détenues par le Centre international de recherche agricole sur les régions arides (ICARDA), Alep, Syrie (39 entrées) et par l'International Centre for Underutilised Crops, University of Southampton, Southampton, Royaume-Uni (32 entrées). En Afrique tropicale, quelques échantillons sont conservés au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, Kikuyu, 9 entrées) et en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), Addis Abeba, 5 entrées). Compte tenu de sa répartition étendue et de ses besoins non spécifiques en matière de milieu, *Vicia hirsuta* n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Vicia hirsuta* est rarement employé comme légume sec. Il y a peu de chances pour qu'à l'avenir il gagne en importance en tant que plante alimentaire. Toutefois, il faudrait disposer d'informations supplémentaires sur la valeur nutritionnelle de ses graines ainsi que sur les techniques de transformation susceptibles d'éliminer ses composés toxiques.

Références principales Enneking, 1995; Gillett et al., 1971; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Thulin, 1983; Zemede Asfaw & Mesfin Tadesse, 2001.

Autres références Bohra & Sharma, 1981; Holm, Pancho & Herberger, 1979; ILDIS, 2005; Mutch & Young, 2004; Polhill, 1990; Sharma & Lavania, 1977; Southon et al., 1994; Thulin, 1989a.

Auteurs M. Brink

VIGNA ACONITIFOLIA (Jacq.) Maréchal

Protologue Bull. Jard. Bot. Belg. 39(2) : 160 (1969).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus aconitifolius* Jacq. (1768).

Noms vernaculaires Haricot mat, mat, haricot papillon (Fr). Moth bean, moth gram, mat bean, dew bean, dew gram (En).

Origine et répartition géographique Le haricot mat est originaire d'Inde, du Pakistan et de Myanmar où il est à la fois sauvage et cultivé. Il est également cultivé dans d'autres parties d'Asie et d'Afrique, aux Etats-Unis et à Cuba. C'est surtout en Inde et en Thaïlande qu'il est cultivé comme légume sec ; ailleurs, il s'agit essentiellement d'une plante fourragère, d'engrais vert ou de plante de couverture. En Afrique tropicale, il a été signalé au Soudan, en Erythrée, en Somalie, au Kenya et au Botswana.

Usages Les graines mûres entières ou cassées sont consommées bouillies ou frites. En Inde, on préfère les graines germées et cuites pour le petit-déjeuner alors que les graines cassées et frites sont consommées comme aliment prêt à manger. Les graines sont parfois moulues en une farine qui est mélangée à d'autres dans la fabrication de pain non levé. Les gousses immatures sont quelquefois consommées bouillies comme légume. En Inde, les cosses ainsi que les résidus subsistant après la préparation du "dal" servent à nourrir les animaux. Le mat est également cultivé comme engrais vert, fourrage frais ou foin, et plante de couverture. Les graines servent de médicament dans des régimes contre la fièvre ; quant aux racines, elles seraient narcotiques.

Production et commerce international En Inde, le haricot mat est cultivé sur 1,5 million d'ha qui produisent environ 0,4 million de t de graines par an, lesquelles sont commercialisées et consommées dans le pays. A l'échelle mondiale, c'est une culture qui s'étend sur près de 2 millions d'ha.

Propriétés Les graines mûres et crues contiennent par 100 g de partie comestible : eau 9,7 g, énergie 1435 kJ (343 kcal), protéines 22,9 g, lipides 1,6 g, glucides 61,5 g, Ca 150 mg, Mg 381 mg, P 489 mg, Fe 10,9 mg, Zn 1,9 mg, vitamine A 32 UI, thiamine 0,56 mg, riboflavine 0,09 mg, niacine 2,8 mg, vitamine B_6 0,37 mg, folates 649 µg et acide ascorbique 4,0 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est la suivante : tryptophane 147 mg, lysine 1248 mg, méthionine 220 mg, phénylalanine 1028 mg, valine 734 mg, leucine 1541 mg et isoleucine 1138 mg. Les principaux acides gras par 100 g de partie comestible sont : acide linoléique 485 mg, acide palmitique 313 mg, acide linolénique 265 mg, acide oléique 129 mg et acide stéarique 51 mg (USDA, 2005). La protéine a une digestibilité inférieure à celle du haricot mungo (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek). La digestibilité de l'amidon et de la protéine est considérablement améliorée par des traitements tels que le trempage, l'élimination du tégument de la graine, la germination ainsi que la cuisson sous pression.

Botanique Plante herbacée annuelle, mince, poilue, à tige courte, anguleuse, érigée, atteignant 40 cm de haut et à nombreux rameaux prostrés jusqu'à 150 cm de long. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules lancéolées, d'environ 12 mm de long, peltées ; pétiole de 5–10 cm de long, cannelé ; stipelles petites ; folioles de 5–12 cm de long, profondément divisées en 3–5 lobes étroits. Inflorescence : fausse grappe axillaire, en forme de tête, dense ; pédoncule de 5–10 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 5–8 mm de long ; calice campanulé, d'environ 2,5 mm de long ; corolle jaune, étendard orbiculaire, jusqu'à 8 mm de long, ailes d'environ 6 mm de long, carène falciforme, d'environ 7 mm de long ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, sessile, d'environ 4 mm de long, style incurvé. Fruit : gousse cylindrique de 2,5–5 cm × 0,5 cm, marron, couverte de poils raides courts, contenant 4–9 graines. Graines rectangulaires à cylindri-



Vigna aconitifolia – 1, rameau en fleurs ; 2, infrutescence ; 3, graines.
Source: PROSEA

ques, de 3–5 mm × 1,5–2,5 mm, vert blanchâtre, jaunes à marron, souvent mouchetées de noir ; hile blanc, linéaire. Plantule à germination épigée.

Le genre *Vigna* comprend environ 80 espèces et est présent dans tous les tropiques. *Vigna aconitifolia* appartient au sous-genre *Ceratotropis*, qui inclut également *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek (haricot mungo), *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H.Ohashi (haricot riz), *Vigna mungo* (L.) Hepper (haricot urd) et *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H.Ohashi (haricot adzuki). En Inde, il existe un grand nombre de variétés traditionnelles et de cultivars de haricot mat.

Pour la germination du mat, une température de 25–27°C est optimale. La croissance végétative débute lentement. Le mat est essentiellement autogame et il lui faut 75–90 jours après le semis pour arriver à maturité. Il nodule efficacement avec des souches de *Bradyrhizobium* appartenant au groupe d'inoculation croisée du niébé.

Ecologie En Inde, le haricot mat est le légume sec le plus résistant à la sécheresse, et il est cultivé surtout en zones chaudes arides à semi-arides. Pour une production optimale, il nécessite une température moyenne de 24–32°C, mais supporte des températures diurnes allant jusqu'à 45°C. En Inde, il est cultivé du niveau de la mer jusqu'à 1300 m d'altitude. Il s'accommode de précipitations annuelles bien réparties comprises entre 500–750 mm, mais se développe aussi très bien dans des zones où elles n'excèdent pas 200–300 mm par an. Même avec seulement 50–60 mm réparties en 3–4 averses durant la période de croissance, on peut obtenir un certain rendement. Le haricot mat est une plante quantitative de jours courts, mais on connaît aussi des types indifférents à la longueur du jour. Il pousse sur plusieurs types de sols mais est particulièrement adapté aux sols sablonneux, légers et secs. Il ne tolère pas l'asphyxie racinaire. En revanche, il supporte un certain taux de salinité et une large gamme de pH (3,5–10).

Gestion Le haricot mat se multiplie par graines ; le poids de 1000 graines est de 10–35 g. Le lit de semis doit être bien préparé. Il est généralement semé à la volée, selon une densité de semis de 10–20 kg/ha lorsqu'il est cultivé pour ses graines en culture pure et de 7–34 kg/ha lorsqu'il est cultivé comme plante fourragère. Lorsqu'il est semé en lignes, la densité de semis est de 2–5 kg/ha en culture pure, l'espacement des lignes de 30–90 cm, et la profondeur du semis de 2,5–4 cm. Lorsqu'il est cultivé comme culture pluviale en zones arides, les meilleurs résultats ont été obtenus en Inde en plantant des quantités égales de types précoces et tardifs en lignes alternées. Il est fréquemment semé en fin de saison des pluies et pousse en utilisant l'humidité résiduelle du sol. La lutte contre les mauvaises herbes est importante jusqu'à ce que le couvert se soit complètement développé. L'irrigation et l'apport d'engrais sont rares. En Inde, il est cultivé en culture pure ou associée avec du mil, du sorgho ou d'autres céréales, de temps en temps avec des légumes secs. Il est cultivé comme engrais vert en rotation avec du coton. Les maladies les plus graves du haricot mat sont le virus de la mosaïque jaune du mungo (MYMV) transmis par la mouche blanche (*Bemisia tabaci*), ainsi que la pourriture des racines et la fonte des semis provoquée par *Macrophomina phaseolina*, qui est transmis par le sol et par les graines. Il existe des cultivars résistants à la mosaïque jaune ; certains cultivars sont modérément résistants à *Macrophomina phaseolina*. Le mat est également affecté par des nématodes, notamment *Meloidoigyne incognita*. Il est parasité par plusieurs espèces de *Striga*. Les bruches (*Callosobruchus* spp.) se nourrissent des graines lors du stockage. Il est difficile de faucher les plantes à la faucheuse à cause des rameaux prostrés. Elles sont généralement moissonnées à la faucille, mises à sécher pendant une semaine, puis battues et vannées. Les rendements en graines moyens s'élèvent à peine à 70–270 kg/ha, bien que ceux obtenus à titre expérimental aux Etats-Unis et en Australie atteignent 2600 kg/ha. Le rendement en matière verte pour le fourrage est de 37–50 t/ha et celui en foin de 7,5–10 t/ha.

Ressources génétiques et sélection La plus importante collection de ressources génétiques du haricot mat se trouve au National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR), New Delhi, Inde, qui détient plus de 1000 entrées. Des collections plus réduites sont disponibles aux Etats-Unis (USDA Southern Regional Plant Introduction Station, Griffin, Géorgie, 56 entrées), au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, Kikuyu, 47 entrées) et dans la Fédération de Russie (Institut Vavilov, St. Petersbourg, 56 entrées). Il convient de poursuivre les efforts entrepris pour la collection, la caractérisation, l'évaluation ainsi que la préservation des ressources génétiques. Des cultivars améliorés de mat ont été mis au point et lancés sur le mar-

ché en Inde, tels que 'RMO-40', 'RMO-225', 'RMO-257', 'RMO-435' et 'Jwala'. La transformation génétique du mat a été effectuée par bombardement de particules ou par l'intermédiaire d'*Agrobacterium*.

Perspectives Le haricot mat passe pour être l'un des plus tolérants à la sécheresse de tous les légumes secs, mais son port étalé, qui rend la récolte difficile, ainsi que l'absence d'information sur son potentiel et sur des pratiques culturales adaptées freinent sa diffusion et son utilisation. Bien qu'il soit signalé dans plusieurs pays, il n'a pas pris d'importance en Afrique tropicale. Il pourrait pourtant accroître la production vivrière et fourragère en zones arides et semi-arides, et protéger le sol contre l'érosion. Ses limites écologiques, des pratiques culturales optimales de même que des cultivars plus adaptés doivent être étudiés. Les priorités de sélection incluent la mise au point de types érigés, précoces, la résistance aux maladies et une grande qualité nutritive de la graine.

Références principales Kay, 1979; Narain, Singh & Kumar, 2000; Negi, Boora & Khetarpaul, 2001; Thulin, 1983; van Oers, 1989a.

Autres références Bogdan, 1977; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Kamble et al., 2003; Kathju et al., 2003; Khatri, 2004; National Academy of Sciences, 1979; Nimkar, Mandwe & Dudhe, 2005; Rathore, 2001; Thulin, 1993; USDA, 2005.

Sources de l'illustration van Oers, 1989a.

Auteurs M. Brink & P.C.M. Jansen

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

VIGNA ADENANTHA (G.Mey.) Maréchal, Mascherpa & Stainier

Protologue Taxon 27: 202 (1978).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus adenanthus* G.Mey. (1818).

Noms vernaculaires Pois marron (Fr). Wild bean (En). Fava caranguejo (Po).

Origine et répartition géographique *Vigna adenantha* est probablement originaire des régions néotropicales où il présente sa plus grande variabilité. Sa répartition est pantropicale, et il est parfois cultivé. En Afrique tropicale, on le trouve dans la plupart des pays, mais il n'a pas été signalé en Ethiopie, ni en Namibie, au Botswana, en Zambie, au Zimbabwe ou au Mozambique. Dans les îles de l'océan Indien, on le rencontre à Madagascar, aux Seychelles et à la Réunion.

Usages Les gousses vertes de même que les graines mûres de *Vigna adenantha* sont consommées comme aliment de secours. Au Libéria, la plante est ou a été cultivée pour ses racines tubérisées comestibles qui sont cuites puis consommées. Les tubercules sont également consommés en période de disette en Inde. Au Soudan, le bétail broute la plante. Au Nigeria, une décoction de la plante entière est utilisée contre la gonorrhée, et mélangée à de l'eau de riz pour soigner le diabète. Grâce à ses grandes fleurs roses et blanches qui jaunissent avec le temps, *Vigna adenantha* peut être cultivé en tant que plante ornementale grimpante.

Propriétés En Amérique tropicale, *Vigna adenantha* fournit un bon fourrage qui contient 17,4% de protéines brutes et 0,18% de P.

Botanique Plante herbacée vivace grimpante jusqu'à 4 m de long, à racines tubérisées ; tige volubile, glabre ou peu poilue, formant des racines sur les nœuds inférieurs. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules oblongues-ovales, de 3–6 mm de long, légèrement cordées à la base, aiguës à l'apex, à nervures bien visibles ; pétiole de 1–14 cm de long, rachis de 0,5–2 cm de long ; pétiolules de 3–4 mm de long, poilues ; folioles ovales à rhombiques, les latérales légèrement asymétriques, de (2,5–)5–10(–14) cm × (1,5–)2,5–6,5(–8) cm, arrondies ou tronquées à la base, obtuses à aiguës à l'apex, à poils couchés épars sur les deux faces et nervation réticulée. Inflorescence : fausse grappe axillaire de 5–30 cm de long, à 6–12 fleurs ; pédoncule jusqu'à 25 cm de long, rachis de 2–7 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 2–3 mm de long, à bractéoles ovales-oblongues de 3–4 mm × 2 mm ; calice à tube de 3–4 mm de long, les 3 lobes inférieurs falciformes ou étroitement oblongs, de 3–5 mm de long, la paire supérieure soudée en une lèvre courte, bifide, à peine pubescent ; corolle à étendard presque circulaire, de 1–2,5 cm × 2–2,5 cm, rose ou blanc veiné de vert et à l'intérieur avec un œil à la base de couleur verte entouré de mauve-violet, ailes d'environ 3 cm de long, mauves teintées de blanc, vertes et jaunes à la base, carène d'environ 5 cm de long, à long bec, incurvée en spirale d'environ 3 spires, blanche à mauve-bleu ; étamines 10, dont 9 soudées mais la supérieure libre ; ovaire supère, à poils couchés, style mince, fortement incurvé. Fruit : gousse oblongue de 7–15 cm ×

0,5–1,5 cm, légèrement cintrée, aplatie, glabre ou légèrement poilue, contenant 9–15 graines. Graines réniformes, de 5,5–7,5 mm × 4,5–6 mm × 2,5–5 mm, brun rougeâtre foncé ; hile central, petit, blanc.

Le genre *Vigna* comprend environ 80 espèces et se rencontre dans tous les tropiques. Toutefois, des études portant sur les caractéristiques embryologiques indiquent que *Vigna adenantha* serait peut-être plus à sa place dans le genre *Phaseolus*.

Les graines présentent une grande cavité entre les cotylédons, ce qui leur permet de flotter ; le schéma de répartition de l'espèce indique d'ailleurs que ses graines sont parfois dispersées par l'eau de mer.

Ecologie On trouve *Vigna adenantha* dans les endroits humides ou marécageux, en bordure de mer et de rivière, de même qu'en milieu cultivé et perturbé à basse altitude. *Vigna adenantha* est une plante de jours courts.

Gestion Pour une germination uniforme et rapide, les graines doivent être scarifiées.

Ressources génétiques et sélection Le Centre international d'agriculture tropicale (CIAT), Cali, Colombie, détient 143 entrées de *Vigna adenantha*. En Afrique tropicale, l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA), Ibadan, Nigeria, possède 18 entrées. *Vigna adenantha* est réparti dans tous les tropiques et n'est pas menacé d'érosion génétique.

Perspectives *Vigna adenantha* conservera une importance secondaire en tant qu'aliment de secours. Il convient d'approfondir les recherches pour déterminer ses possibilités comme aliment, fourrage, plante médicinale et ornementale.

Références principales Burkill, 1995; du Puy et al., 2002; Faigón Soverna, Galati & Hoc, 2003; Gillett et al., 1971; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001.

Autres références CSIR, 1969; Dalziel, 1937; Friedmann, 1994; Hepper, 1958; ILDIS, 2005; Lai & Pitman, 1987; Maréchal, Mascherpa & Stainier, 1978; Pitman & Singer, 1985; Tateishi, 1988; Thulin, 1993.

Auteurs M. Brink & P.C.M. Jansen

VIGNA ANGULARIS (Willd.) Ohwi & H.Ohashi

Protologue Journ. Jap. Bot. 44(1) : 29 (1969).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus angularis* (Willd.) W. Wight (1909).

Noms vernaculaires Haricot adzuki (Fr). Adzuki bean, azuki bean (En). Feijão adzuki (Po).

Origine et répartition géographique L'origine exacte du haricot adzuki est inconnue ; on trouve des types sauvages au Népal, dans le sud-est de la Chine, à Taïwan, en Corée et au Japon. On sait qu'il est cultivé depuis l'antiquité du nord de la Corée à la Chine et au Japon. Il a été introduit dans de nombreux pays du monde. En Afrique, des plantations expérimentales ont été effectuées en R.D. du Congo, au Kenya et en Angola, mais on ne dispose d'aucune information récente. Il a également été signalé à Madagascar et aux Seychelles.

Usages Les graines séchées sont consommées, soit cuites entières soit transformées en farine pour être utilisées dans des soupes, des gâteaux, des sucreries et des crèmes glacées. Le haricot adzuki est particulièrement prisé en Chine, à Taïwan, en Corée et au Japon ("azuki an"), où les graines rouges revêtent une valeur culturelle liée à la naissance, au mariage et à la mort. Les graines immatures et les graines germées sont consommées comme légume. On peut faire éclater les graines comme des grains de maïs, les utiliser pour remplacer le café ou les confire et les manger.

Le haricot adzuki est également cultivé comme plante fourragère, comme engrais vert et pour la conservation du sol. La farine est aussi employée dans les shampooings, les crèmes de beauté et comme ingrédient dans les milieux de culture. En Chine, les graines servent à traiter les problèmes rénaux, la constipation, les abcès, certaines tumeurs, les risques de fausse couche, la rétention placentaire, l'absence de sécrétion de lait ainsi qu'à améliorer la circulation sanguine et la miction. Les feuilles feraient baisser la fièvre et les germes sont utilisés pour prévenir les risques d'avortement causés par des blessures.

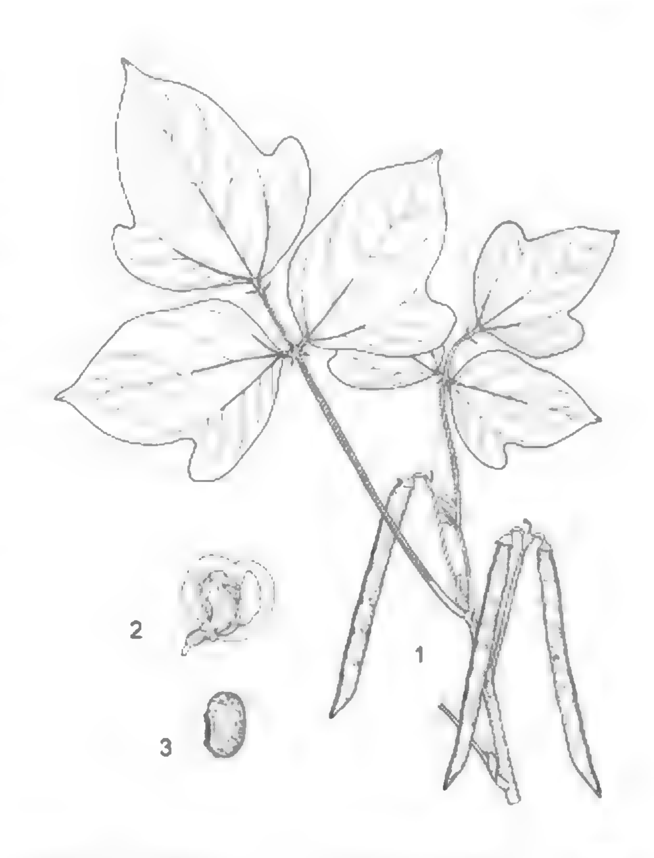
Production et commerce international Il n'existe pas de statistiques sur la production mondiale de haricot adzuki. Les principaux producteurs sont la Chine (670 000 ha), le Japon (60 000 ha), la Corée du Sud (25 000 ha) et Taïwan (15 000 ha). Le Japon en produit quel-

que 100 000 t/an et en consomme environ 140 000 t/an ; il en importe de Chine, de Taïwan, des Etats-Unis, de Thaïlande et du Canada. La moyenne des exportations depuis la Chine dans les années 1990 s'élevait à 25 000–40 000 t/an. Tant les graines que la farine de graines constituent d'importants articles du commerce sur les marchés orientaux.

Propriétés Les graines mûres et crues contiennent par 100 g de partie comestible : eau 13,4 g, énergie 1377 kJ (329 kcal), protéines 19,9 g, lipides 0,5 g, glucides 62,9 g, fibres alimentaires 12,7 g, Ca 66 mg, Mg 127 mg, P 381 mg, Fe 5,0 mg, Zn 5,0 mg, vitamine A 17 UI, thiamine 0,46 mg, riboflavine 0,22 mg, niacine 2,6 mg, vitamine B_6 0,35 mg, folates 622 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels par 100 g de partie comestible est la suivante : tryptophane 191 mg, lysine 1497 mg, méthionine 210 mg, phénylalanine 1052 mg, thréonine 674 mg, valine 1023 mg, leucine 1668 mg et isoleucine 791 mg. Les principaux acides gras par 100 g de partie comestible sont : acide linoléique 113 mg et acide oléique 50 mg (USDA, 2005). Les graines de haricot adzuki ont un goût sucré de noisette.

Des fractions de graines résistantes aux enzymes ont montré des effets hypocholestérolémiques chez les rats. Des extraits à l'eau chaude ont montré des propriétés hypoglycémiques et antitumorales in vivo. Des extraits aqueux du tégument ont révélé une activité hépato-protectrice.

Botanique Plante herbacée annuelle, généralement buissonnante et érigée, atteignant 90 cm de haut, parfois grimpante ou prostrée et s'enracinant aux nœuds ; racine pivotante de 40–50 cm de long. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules petites, peltées, souvent bifides avec des appendices basaux ; stipelles lancéolées ; folioles lancéolées à ovales, de 5–10 cm × 5–8 cm, acuminées, entières à 3-lobées. Inflorescence : fausse grappe axillaire, à 2–20 fleurs ; pédoncule long sur les nœuds inférieurs à très court sur les nœuds supérieurs. Fleurs papilionacées, bisexuées ; pédicelle court, portant un nectaire extra-floral à la base ; bractéoles plus longues que le calice ; calice campanulé, à dents courtes ; corolle de 15–18 mm de long, jaune clair, étendard orbiculaire, ailes oblongues, carène tournée vers la droite, avec un éperon en forme de corne sur le côté gauche ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, brièvement poilu, style brusquement recourbé dans la partie supérieure,



Vigna angularis – 1, rameau en fruits ; 2, fleur ; 3, graine.
Source: PROSEA

poilu sur un côté près de l'extrémité, stigmate latéral, discoïde. Fruit : gousse cylindrique de 5–13 cm × 0,5 cm, pendante, légèrement comprimée entre les graines, presque glabre, jaune pâle, noirâtre ou marron, à 2–14 graines. Graines cylindriques à bouts arrondis, aplaties, de 5–7,5 mm × 4–5,5 mm, lisses, rouge bordeaux, quelquefois chamois, crème, noires ou marbrées. Plantule à germination hypogée ; feuilles primaires simples, opposées, cordées.

Le genre *Vigna* comprend environ 80 espèces et se recontre dans tous les tropiques. *Vigna angularis* appartient au sous-genre *Ceratotropis*, qui inclut également *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek (haricot mungo), *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H.Ohashi (haricot riz), *Vigna mungo* (L.) Hepper (haricot urd) et *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Maréchal (haricot mat). Les formes cultivées de *Vigna angularis* ont été classées comme var. *angularis*, les formes sauvages comme var. *nipponensis* (Ohwi) Ohwi & H.Ohashi. Le haricot adzuki sauvage présente un port de croissance indéterminée avec de fines tiges volubiles, de petites feuilles, des gousses courtes et fortement déhiscentes, noires à grises et des graines mouchetées de noir. De nombreux cultivars ont été décrits au sein de *Vigna*

angularis qui se distinguent par la longueur de leur cycle, la couleur des graines et le port de la plante. Des types intermédiaires, à mi-chemin entre les plantes sauvages et cultivées, qualifiés de types adventices, ont été trouvés au Japon. Les graines de haricot adzuki conservent leur viabilité pendant au moins 5 ans lorsqu'elles sont entreposées à environ 13% de taux d'humidité, à 15% d'humidité relative. La germination nécessite une température du sol supérieure à 6–10°C, la température optimale étant de 30–34°C. La levée nécessite 7–20 jours. La croissance est lente par rapport à celle d'autres légumes secs. La floraison dure 30–40 jours et peut se répéter jusqu'à 3 fois lorsque le semis a lieu tôt dans la saison. L'autogamie est prédominante, mais il y a un peu d'allofécondation. Le cycle de croissance est de (60–)80–120(–190) jours. Des niveaux de fixation d'azote atteignant 100 kg N/ha ont été observés, le montant dépendant de l'humidité du sol et du pH. Le haricot adzuki nodule efficacement avec les bactéries *Bradyrhizobium*.

Ecologie Le haricot adzuki pousse mieux sous les climats subtropicaux et tempérés chauds. Il lui faut des températures moyennes de 15–30°C pour une croissance optimale. Il tolère de fortes températures mais est sensible au gel. Sous les tropiques, il est plus adapté à des altitudes élevées. Il pousse dans des régions où la pluviométrie annuelle moyenne est de 500–1750 mm. C'est une plante de jours courts à réaction quantitative, mais il existe des cultivars indifférents à la longueur du jour. Il peut être cultivé sur une large gamme de sols (pH 5–7,5), à condition qu'ils soient bien drainés.

Gestion La multiplication du haricot adzuki se fait par graines. Le poids de 1000 graines est de 50–200 g. Il existe une grande variété de pratiques de semis mais généralement, les graines sont semées en lignes à 2–3 cm de profondeur, la distance interligne étant de 30–90 cm et l'espacement sur la ligne de 10–45 cm ; parfois il est semé à la volée. La densité de semis fluctue énormément (8–70 kg/ha). En raison de sa croissance relativement lente, la lutte contre les mauvaises herbes est très importante, notamment entre la germination et la floraison. Les apports d'engrais varient considérablement. On a signalé une culture d'adzuki dont le rendement atteignait 2160 kg/ha et dont l'absorption était de 74 kg N, 18 kg P et 50 kg K. La plante n'est généralement pas irriguée. En Chine, elle est souvent intercalée avec du maïs, du sorgho et du mil. Au Japon, le haricot adzuki est cultivé en rotation avec de nombreuses cultures (comme le riz, le blé, la patate douce, l'igname). Les graines peuvent être semées directement, en grosses quantités, au milieu des chaumes de riz pour réduire les problèmes de mauvaises herbes. On connaît un grand nombre de champignons et de bactéries responsables de maladies chez l'adzuki, en particulier l'oïdium (*Erysiphe polygoni*, synonyme : *Erysiphe betae*), la pourriture brune de la tige (*Cephalosporium gregatum*, synonyme : *Phialophora gregata*) et la brûlure bactérienne (*Xanthomonas campestris*). Plusieurs insectes ravageurs, tels que le ver de la gousse (*Matsumuraeses phaseoli*), la pyrale (*Ostrinia scapulalis pacifica*) et la noctuelle (*Spodoptera litura*) attaquent la plante. La bruche (*Callosobruchus chinensis*) détruit les graines stockées. En général, les gousses ne s'égrènent pas facilement et la récolte peut être effectuée à la faucheuse ou à la moissonneuse. Traditionnellement, les plantes sont coupées à la main et laissées sur le sol où elles fanent pendant plusieurs jours avant d'être mises en meules pour sécher. Le séchage est terminé lorsque le taux d'humidité des graines est d'environ 16% ; alors le battage peut commencer. Parfois les cosses sont très fines et, en cas d'humidité, les graines peuvent germer dans la gousse. Pour le foin, le haricot adzuki doit être ramassé lorsque les gousses sont à moitié mûres. En production de graines, les plantes sont coupées lorsque toutes les gousses sont mûres. Des rendements en graines jusqu'à 3500 kg/ha ont été obtenus. Sur une plantation expérimentale au Kenya, ils ont atteint 500–600 kg/ha.

Ressources génétiques et sélection D'importantes collections de ressources génétiques de haricot adzuki sont détenues en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), Beijing, plus de 3700 entrées) et au Japon (Tokachi Agricultural Experiment Station, Hokkaido-ken, environ 2500 entrées).

En Chine, au Japon, en Corée et à Taïwan, la sélection a permis d'obtenir des cultivars plus productifs et localement adaptés, comme 'Baihong No 1' (Chine), 'Erimo' (Japon), 'Chungwonpat' (Corée) et 'Kaohsiung No 3' (Taïwan). Rien qu'au Japon, plus de 300 cultivars, variétés traditionnelles et lignées de sélection ont été enregistrés. Des plantes in vitro d'adzuki sont couramment obtenues en utilisant des épicotyles comme explants. Un système de transformation génétique a été établi grâce au transfert par *Agrobacterium*. Une carte de liaison génétique a été élaborée à l'aide des mar-

queurs moléculaires (RAPD, RFLP) et morphologiques.

Perspectives Le haricot adzuki est une plante adaptée aux régions subtropicales et tropicales de haute altitude. Il ne faut pas négliger pour autant son potentiel dans la lutte contre l'érosion. Il faudrait étudier les possibilités qu'il offre dans les régions de haute altitude en Afrique tropicale.

Références principales Kay, 1979; Lumpkin & McClary, 1994; Schuster et al., 1998; van Oers, 1989b; Zong et al., 2003.

Autres références Duke, 1981; Han et al., 2003; Han et al., 2004; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Itoh et al., 2004; Itoh, Umekawa & Furuichi, 2005; Kaga et al., 1996a; USDA, 2005; Yamaguchi, 1992; Yamada et al., 2001.

Sources de l'illustration van Oers, 1989b.

Auteurs P.C.M. Jansen

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

VIGNA MUNGO (L.) Hepper

Protologue Kew Bull. 11(1) : 128 (1956).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus mungo* L. (1767).

Noms vernaculaires Haricot urd, urd (Fr). Black gram, urd bean, urad bean (En). Feijão urida (Po). Mchooko mweusi (Sw).

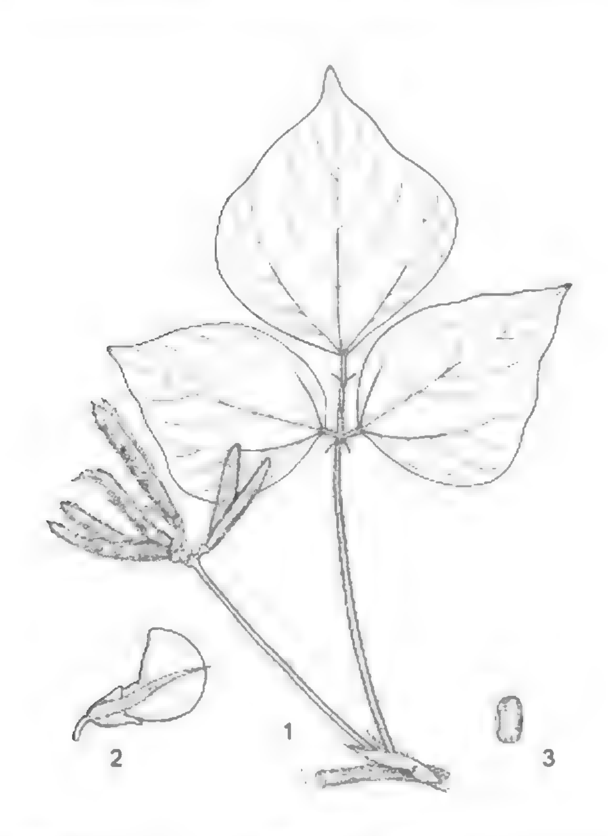
Origine et répartition géographique Le haricot urd a été très probablement domestiqué en Inde à partir de son ancêtre sauvage que l'on trouve également au Bangladesh, au Pakistan et en Myanmar. A l'heure actuelle, sa culture n'a une réelle importance qu'en Inde, mais elle se rencontre aussi, jusqu'à un certain point, dans toute l'Asie tropicale. En Afrique, il est cultivé au Gabon, en R.D. du Congo, au Kenya, en Ouganda, en Tanzanie, au Malawi, au Mozambique, en Afrique du Sud, à Madagascar et à l'île Maurice. Il est cultivé surtout comme plante fourragère aux Etats-Unis et en Australie.

Usages Les graines d'urd sont consommées comme légume sec, directement ou dans diverses préparations (entières ou cassées, bouillies ou grillées, moulues en farine pour la transformation en gâteau, pain ou bouillie). C'est par ex. avec la farine d'urd qu'on fait en Inde les galettes "papadum". Les graines germées sont également consommées. Les gousses vertes sont utilisées comme légume cuit. De petites quantités de gousses et de feuillage sont utilisées pour compléter l'alimentation animale ou bien comme fourrage. Quelquefois, le haricot urd est semé comme plante de couverture et comme engrais vert. Les cosses servent à nourrir le bétail. La farine de graines remplace le savon ; elle rend la peau douce et lisse. En médecine traditionnelle, les graines sont utilisées pour leurs propriétés suppuratives, rafraîchissantes et astringentes, par ex. pilées et appliquées en cataplasme sur les abcès.

Production et commerce international En Inde, le principal producteur et consommateur, la production annuelle moyenne de graines de haricot urd est d'environ 1,3 million de t sur 3 millions d'ha. La Thaïlande produit chaque année près de 90 000 t qui sont exportées principalement vers le Japon qui préfère les graines germées d'urd à celles de mungo (*Vigna radiata* (L.) R.Wilczek) car elles se conservent plus longtemps. La production annuelle du Pakistan est d'environ 28 000 t sur 57 000 ha, et celle du Sri Lanka de 6000 t sur 8000 ha. En outre, le Sri Lanka en importe 6000 t/an.

Propriétés Les graines d'urd contiennent par 100 g de partie comestible : eau 8,6 g, énergie 1470 kJ (351 kcal), protéines 25,1 g, lipides 1,8 g, glucides 61,0 g, fibres brutes 4,4 g, Ca 196 mg, Mg 260 mg, P 575 mg, Fe 6,8 mg, Zn 3,1 mg, vitamine A 114 UI, thiamine 0,36 mg, riboflavine 0,28 mg, niacine 1,8 mg, vitamine B_6 0,28 mg, folates 628 μg et acide ascorbique 4,8 mg. La composition en acides aminés essentiels par g d'azote est la suivante : tryptophane 65 mg, lysine 415 mg, méthionine 91 mg, phénylalanine 365 mg, thréonine 217 mg, valine 351 mg, leucine 518 mg et isoleucine 319 mg (Haytowitz & Matthews, 1986). Les graines d'urd ont montré une activité anti-athérogène chez les cochons d'Inde.

Botanique Plante herbacée annuelle érigée, poilue, atteignant 100 cm de haut, parfois volubile, à racine pivotante bien développée ; tige abondamment ramifiée à partir de la base, cannelée. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules peltées, ovales ; pétiole de 6–20 cm de long ; stipelles falciformes ; folioles ovales ou rhombiques-ovales, de 4–10 cm × 2–7 cm, entières, acuminées. Inflorescence : fausse grappe axillaire ; pédoncule jusqu'à 18 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées, petites ; bractéoles linéaires à lancéolées, dépassant le calice ; calice campanulé ; corolle jaune, étendard de 12–16 mm de large, ailes presque aussi longues que l'étendard, carène enroulée en spirale avec un appendice terminal en forme de corne ;



Vigna mungo – 1, partie de rameau en fruits ; 2, fleur ; 3, graine.
Source: PROSEA

étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, style courbé en spirale. Fruit : gousse cylindrique de 4–7 cm × 0,5 cm, érigée ou presque, avec de longs poils et un bec crochu et court, contenant 4–10 graines. Graines ellipsoïdes, jusqu'à 5 mm de long, à bouts carrés et à hile en relief et concave, généralement noires ou tachetées, parfois vertes. Plantule à germination épigée.

Le genre *Vigna* comprend environ 80 espèces et se rencontre dans tous les tropiques. *Vigna mungo* appartient au sous-genre *Ceratotropis*, qui inclut également *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek (haricot mungo), *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & H.Ohashi (haricot riz), *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H.Ohashi (haricot adzuki) et *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Maréchal (haricot mat). Il y a eu confusion sur le statut taxinomique de *Vigna mungo* et de *Vigna radiata* et comme elles sont très proches l'une de l'autre, on a proposé de les regrouper en une seule espèce. Néanmoins, actuellement on les considère comme 2 espèces séparées avec comme différences essentielles : la couleur des fleurs (jaune vif chez *Vigna mungo*, jaune pâle chez *Vigna radiata*), la poche sur la carène (plus longue chez *Vigna mungo* que chez *Vigna radiata*), la forme du fruit (les gousses de *Vigna mungo* sont plus courtes et érigées par rapport au pédoncule, chez *Vigna radiata* les gousses sont plus longues et étalées ou pendantes).

On distingue trois taxons à l'intérieur de *Vigna mungo* :
- var. *mungo*, avec des cultivars précoces de grande taille et à graines noires ;
- var. *viridis* Bose, avec des cultivars tardifs à graines verdâtres ternes ou brillantes ;
- var. *silvestris* Lukoki, Maréchal & Otoul, qui est le type sauvage ; comparé aux types cultivés, il est plus petit, plus grimpant, plus poilu, avec des inflorescences plus denses et de petites graines à arille en relief et proéminent ; il est considéré comme l'ancêtre de l'urd cultivé.

Pour les types cultivés, une classification en cultivars et groupes de cultivars serait plus appropriée.

La germination du haricot urd prend normalement entre 7–10 jours. La floraison débute 30–60 jours après le semis. Les fleurs sont généralement autofécondées, le pollen étant libéré avant que les fleurs ne s'ouvrent. La maturité est atteinte en 60–140 jours après le semis. L'urd nodule efficacement avec les bactéries *Bradyrhizobium*.

Ecologie Le haricot urd est essentiellement une plante de saison chaude, même si en Inde elle est cultivée à la fois en été et en hiver, jusqu'à 1800 m d'altitude. Elle résiste bien à la sécheresse mais ne tolère ni le gel ni la nébulosité prolongée. Elle est normalement cultivée dans des zones où la température moyenne est de 25–35°C et où les précipitations annuelles atteignent les 600–1000 mm. Dans des zones où la pluviométrie est supérieure, elle peut être cultivée en saison sèche sur l'humidité résiduelle. L'urd préfère des sols lourds, bien drainés, tels que les vertisols de pH 6–7, mais il est aussi cultivé sur des sols plus légers.

Gestion L'urd se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 15–60 g. Il est semé à la volée ou en lignes à une profondeur de 1–1,5 cm. La densité de semis est de 10–30 kg/ha, l'espacement entre les lignes de 25–40 cm, l'espacement sur la ligne de 10–20 cm. Une préparation minutieuse du champ n'est pas indispensable ; un simple labour suffit. Un ou deux désherbages seulement sont effectués jusqu'à ce que le couvert se ferme. La culture est essentiellement pluviale et l'apport d'engrais n'est pas fréquent. Pendant la saison des pluies en Inde, elle est habituellement associée à la canne à sucre, au coton, à l'arachide, au sorgho ou au pois cajan comme cultures princi-

pales. En saison sèche, elle est cultivée en culture pure dérobée après le riz. Les principales maladies de l'urd sont le virus de la mosaïque jaune du mungo (MYMV), la cercosporose (causée par *Cercospora* sp.), le rhizoctone (*Rhizoctonia solani*, synonyme : *Thanatephorus cucumeris*) et l'oïdium (*Erysiphe polygoni*, synonyme : *Erysiphe betae*). Les ravageurs les plus nuisibles sont la mouche blanche et les thrips. Lors du stockage, les graines sont attaquées par les bruches (*Callosobruchus* spp.). L'urd doit être récolté avant la pleine maturité des gousses afin d'éviter l'égrenage. Les plantes sont coupées ou arrachées, mises en meules pour sécher pendant 7 jours et battues à coups de bâtons ou foulées par les animaux. On peut également ramasser les gousses à la main. Le rendement en graines sèches est en moyenne de 350–800 kg/ha mais il peut atteindre 1500–2500 kg/ha. En Inde, les graines d'urd sont généralement transformées en graines cassées (dal).

Ressources génétiques et sélection Environ 2100 entrées de haricot urd sont détenues par le National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR), New Delhi, Inde, dans ses diverses unités de recherche. L'USDA Southern Regional Plant Introduction Station, Griffin, Géorgie, Etats-Unis, détient 300 entrées, et le Centre de recherche et de développement sur les légumes en Asie (AVRDC) de Taïwan possède une collection de 200 entrées. Les programmes de sélection destinés à améliorer ce légume sec ont pour but un type de plante combinant un port déterminé et une hauteur de plante de 30 cm, la précocité (60–90 jours), et l'adaptabilité à de nombreuses régions agro-climatiques. Des sources de résistance aux maladies les plus courantes sont disponibles et plusieurs cultivars résistants ont été mis sur le marché. La variabilité génétique du haricot urd est considérable, ce qui permet la mise au point de cultivars adaptés à la plupart des climats tropicaux et subtropicaux. La transformation génétique de l'urd a été réalisée par l'intermédiaire d'*Agrobacterium*.

Perspectives Il serait intéressant de mener des essais à plus grande échelle en Afrique tropicale sur le haricot urd en raison de ses graines très nutritives et de sa souplesse écologique. Il faudra exploiter la diversité génétique pour obtenir des cultivars adaptés à l'Afrique.

Références principales Arora & Shri S. Mauria, 1989; Dikshit et al., 2004; Kay, 1979; Lawn & Ahn, 1985; Souframanien & Gopalakrishna, 2004.

Autres références CSIR, 1976; Ghafoor et al., 2001; Gillett et al., 1971; Haytowitz & Matthews, 1986; ILDIS, 2005; Maréchal, Mascherpa & Stainier, 1978; Midya et al., 2005; Purseglove, 1968; Saini & Jaiwal, 2005; Srivastava & Joshi, 1990.

Sources de l'illustration Arora & Shri S. Mauria, 1989.

Auteurs P.C.M. Jansen

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

VIGNA RADIATA (L.) R.Wilczek

Protologue Fl. Congo Belge 6: 386 (1954).

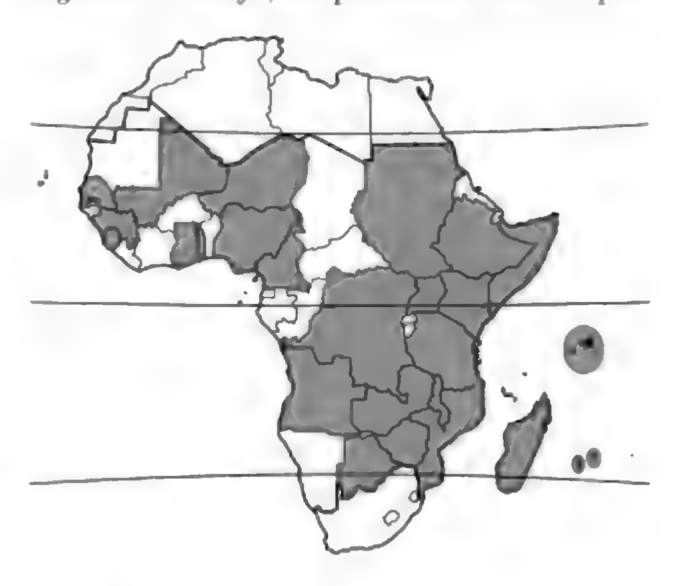
Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus radiatus* L. (1753), *Phaseolus aureus* Roxb. (1832).

Noms vernaculaires Haricot mungo, mungo, ambérique, haricot doré (Fr). Mung bean, green gram, golden gram (En). Feijão mungo verde (Po). Mchooko, mchoroko (Sw).

Origine et répartition géographique Le haricot mungo est originaire de l'Inde ou de la région indo-birmane où il est cultivé depuis des millénaires. L'ancienneté de la culture du mungo en Inde est étayée par des restes fossilisés découverts au centre de l'Inde, qu'on a datés de 1500–1000 av. J.-C. La culture du haricot mungo s'est diffusée très tôt vers la plupart des autres pays asiatiques, et par la suite vers l'Afrique, l'Australie, les Amériques et les Antilles. Mais il n'a guère pris d'importance hors d'Asie, bien qu'il soit cultivé dans de nombreux pays d'Afrique tropicale. De fait, dans certaines régions du Kenya, en particulier dans la pro-



Vigna radiata – *planté*

vince Est, le haricot mungo est la principale culture commerciale.

Usages Les graines mûres de haricot mungo ou la farine qu'on en tire sont l'ingrédient de toutes sortes de plats, comme des soupes, de la bouillie, des amuse-gueule, du pain, des nouilles, et même des crèmes glacées. Au Kenya, on consomme très couramment les graines entières cuites à l'eau avec des céréales comme le maïs ou le sorgho. Les graines entières cuites à l'eau sont également frites avec de la viande ou des légumes et consommées comme condiment avec de la bouillie de maïs épaisse (l' "ugali") et des crêpes (des "chapattis") ; la consommation des graines cassées ("dal") est quant à elle répandue parmi les populations d'origine asiatique. En Ethiopie, les graines s'emploient dans des sauces. Au Malawi, on les prépare comme plat d'accompagnement, le plus souvent après avoir ôté le tégument par broyage. En Inde et au Pakistan, les graines séchées se mangent soit entières soit cassées ("dal"). Les graines cassées se mangent frites et salées, en amuse-gueule. Les graines peuvent se sécher et, une fois le tégument ôté, se réduire en une farine qui sert dans divers plats indiens et chinois. On peut en faire aussi des nouilles d'amidon, très prisées, du pain, des biscuits, du fromage végétal et un extrait destiné à la fabrication de savon. Les graines germées se mangent crues ou cuites comme légume ; en français, on les appelle par erreur "germes de soja", et en anglais "bean sprouts".

Les gousses immatures et les jeunes feuilles se consomment en légume. Les résidus végétaux et les graines abîmées sont donnés au bétail. Le haricot mungo se cultive parfois pour son fourrage, comme engrais vert ou comme plante de couverture. Les graines seraient une source traditionnelle de remède contre la paralysie, les rhumatismes, la toux, la fièvre et les troubles hépatiques.

Production et commerce international Il est difficile d'obtenir des statistiques fiables sur la production du haricot mungo car elles sont souvent agrégées à celles d'autres espèces de *Vigna* et de *Phaseolus*. L'Inde est le producteur principal, avec une production estimée à la fin des années 1990 à près de 1,1 million de t. En 2000, la Chine en a produit 891 000 t (soit 19% de sa production totale de légumes secs) sur 772 000 ha. On ne dispose d'aucune statistique pour l'Afrique.

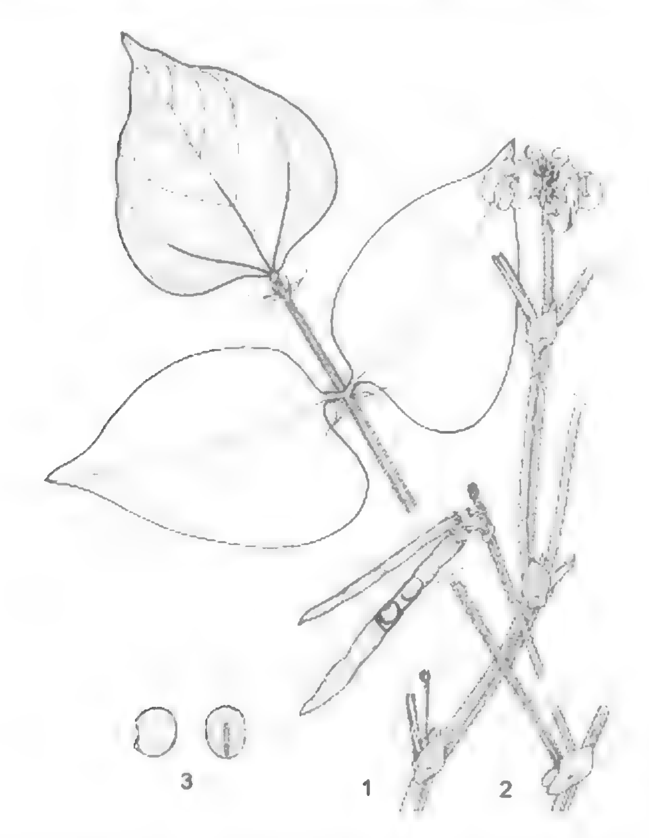
La Chine en a exporté 110 000 t en 1998, 290 000 t en 1999 et 88 000 t en 2000. La totalité du haricot mungo produit en Inde est destiné à la consommation intérieure. Dans la plupart des régions d'Afrique où vivent des communautés asiatiques, les produits alimentaires tirés du haricot mungo sont vendus dans les villes.

Propriétés La composition des graines mûres de haricot mungo, par 100 g de partie comestible, est : eau 9,1 g, énergie 1453 kJ (347 kcal), protéines 23,9 g, lipides 1,2 g, glucides 62,6 g, fibres alimentaires 16,3 g, Ca 132 mg, Mg 189 mg, P 367 mg, Fe 6,7 mg, Zn 2,7 mg, vitamine A 114 UI, thiamine 0,62 mg, riboflavine 0,23 mg, niacine 2,3 mg, vitamine B_6 0,38 mg, folates 625 µg et acide ascorbique 4,8 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 260 mg, lysine 1664 mg, méthionine 286 mg, phénylalanine 1443 mg, thréonine 782 mg, valine 1237 mg, leucine 1847 mg et isoleucine 1008 mg (USDA, 2004). L'amidon est constitué de 28,8% d'amylose et de 71,2% d'amylopectine. La graine du haricot mungo est très digeste et contient peu de facteurs antinutritionnels. Elle provoque moins de flatulences que la graine de la plupart des autres légumes secs, ce qui la rend indiquée pour les enfants et les personnes âgées. L'amidon de haricot mungo aurait un taux glycémique faible, c.à.d. qu'il élèverait lentement et régulièrement le taux de sucre du sang.

La composition de germes de haricot mungo, par 100 g de partie comestible, est : eau 90,4 g, énergie 126 kJ (30 kcal), protéines 3,0 g, lipides 0,2 g, glucides 5,9 g, fibres alimentaires 1,8 g, Ca 13 mg, Mg 21 mg, P 54 mg, Fe 0,9 mg, Zn 0,4 mg, vitamine A 21 UI, thiamine 0,08 mg, riboflavine 0,12 mg, niacine 0,75 mg, vitamine B_6 0,09 mg, folates 61 µg et acide ascorbique 13,2 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 37 mg, lysine 166 mg, méthionine 34 mg, phénylalanine 117 mg, thréonine 78 mg, valine 130 mg, leucine 175 mg et isoleucine 132 mg (USDA, 2004). La germination en particulier entraîne l'augmentation de la concentration en acide ascorbique.

Le foin de haricot mungo contient : humidité 9,7%, protéines brutes 9,8%, lipides 2,2%, fibres brutes 24,0%, cendres 7,7%, extrait non azoté 46,6%, protéines digestibles brutes 7,4%, nutriments digestibles totaux 49,3%. Des extraits aqueux de graines de haricot mungo se sont avérés avoir des effets hypotensifs et hépatoprotecteurs in vivo chez les rats. Des extraits de graines et de téguments ont démontré des effets antioxydants.

Description Plante herbacée annuelle, érigée à semi-érigée, légèrement pubescente, atteignant 1,3 m de haut ; système racinaire constitué d'une racine pivotante bien développée à racines latérales localisées en profondeur ; tige très ramifiée, ayant tendance à s'enrouler aux extrémités, anguleuse, recouverte de longs poils étalés. Feuilles alternes, 3-foliolées (parfois 5-foliolées), vert foncé ; stipules de 5–18 mm × 3–10 mm, peltées, ovales, rhomboïdes ou obovales-oblongues ; pétiole de 5–21 cm de long, rachis de 1,5–4,5(–8) cm long ; stipelles bien visibles, de 5–10 mm de long ; pétiolules de 3–6 mm de long ; folioles entières ou 2–3-lobées, de 5–18 cm × 3–15 cm, elliptiques, rhomboïdes ou ovales, base largement cunéiforme ou arrondie, apex acuminé, glabres ou poilues sur les deux surfaces, à 3 nervures distinctes partant de la base, les folioles latérales à côtés inégaux. Inflorescence : fausse grappe axillaire atteignant 20 cm de long, à 4–15(–30) fleurs. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 2–3 mm de long ; calice campanulé, tube de 3–4 mm de long et glabre, lobes étroitement triangulaires, de 1,5–4 mm de long, ciliés, paire du haut réunie en un lobe bifide ; corolle jaune ou verdâtre, étendard de 11 mm × 16 mm, glabre, ailes d'environ 11 mm × 7 mm,



Vigna radiata – 1, partie d'un rameau en fleurs ; 2, partie d'un rameau en fruits ; 3, graines. Source: PROSEA

carène d'environ 10 mm de long, souvent teintée de gris ou rougeâtre, à long bec incurvé à presque 360°, et pourvue d'une poche distincte sur un des côtés ; étamines 10, dont 9 soudées et 1 libre ; ovaire supère, sessile, d'environ 7 mm de long, poilu. Fruit : gousse linéaire-cylindrique de (2,5–)4–9(–15) cm × 4–9 mm, généralement rectiligne, noire ou brun fauve, à pubescence brune, courte et étalée, contenant (7–)10–15(–20) graines, un peu comprimée entre les graines. Graines de 2,5–4 mm × 2,5–3 mm × 2,5–3 mm, globuleuses à ellipsoïdes ou cubiques, généralement vertes mais parfois jaunes, olive, brunes, brun violacé ou noires, marbrées ou mouchetées de taches noires, brillantes ou ternes ; hile blanc, plat et bien visible, d'environ 1,5 mm × 0,5 mm ; tégument souvent marqué de stries qui rendent les graines rugueuses au toucher. Plantule à germination épigée.

Autres données botaniques Le genre *Vigna*, qui comprend environ 80 espèces, se rencontre partout dans les régions tropicales. *Vigna radiata* appartient au sous-genre *Ceratotropis*, groupe relativement homogène et distinct du point de vue morphologique et taxinomique, de répartition asiatique essentiellement. Les autres espèces asiatiques cultivées de *Vigna* dans ce sous-genre sont *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Maréchal (haricot mat), *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & Ohashi (haricot adzuki), *Vigna mungo* (L.) Hepper (haricot urd), *Vigna trilobata* (L.) Verdc. (pillipesara) et *Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi & Ohashi (haricot riz). Des hybrides ont été obtenus entre nombre de ces espèces. Les espèces ont souvent été confondues, en particulier *Vigna radiata* et *Vigna mungo*.

Les types sauvages de haricot mungo, dont toutes les parties sont de plus petite taille que chez les types cultivés, sont généralement classés en deux variétés botaniques :

- var. *sublobata* (Roxb.) Verdc., présente en Inde, au Sri Lanka, en Asie du Sud-Est, au nord de l'Australie (Queensland), en Afrique tropicale depuis le Ghana jusqu'à l'Afrique de l'Est, en Afrique australe et à Madagascar ;
- var. *setulosa* (Dalzell) Ohwi & Ohashi, à stipules grandes et presque orbiculaires et à poils longs et drus sur la tige, qu'on trouve en Inde, en Chine, au Japon et en Indonésie.

Les types cultivés de haricot mungo sont groupés sous *Vigna radiata* var. *radiata*, mais une classification par groupes de cultivars serait mieux venue. On distingue habituellement deux types de cultivars de haricot mungo, prin-

cipalement à partir de la couleur des graines :

- le haricot mungo à grain doré, ayant des graines jaunes, à faible rendement et à gousses s'égrenant à maturité ; souvent cultivé pour son fourrage ou comme engrais vert ;
- le haricot mungo à grain vert, ayant des graines vert vif, plus prolifique, mûrissant plus uniformément, et dont les gousses ont moins tendance à s'égrener.

Deux autres types sont reconnus en Inde, l'un à graines noires et l'autre à graines brunes.

Croissance et développement La température de germination minimale des graines de haricot mungo est d'environ 12°C, la température optimale se situant aux alentours de 25°C. Les plantules lèvent en 3–7 jours. Le haricot mungo est une plante à cycle court, qui fleurit en 30–70 jours et mûrit en 50–120 jours après le semis. L'autofécondation est la règle, mais il peut exister jusqu'à 5% d'allogamie. En général, les fleurs sont fécondées pendant la nuit, avant de s'ouvrir en début de matinée. Il s'écoule 3–4 semaines entre l'ouverture de la fleur et la maturité de la gousse. La chute des fleurs est fréquente, et peut atteindre 90%. Le haricot mungo a une croissance déterminée, mais comme ses inflorescences restent méristématiques et peuvent produire de nouvelles fleurs suite à une période d'adversité, il fleurit et fructifie sur plusieurs semaines. Des feuilles vertes, des fleurs épanouies, des gousses vertes et des gousses mûres sont présentes en même temps sur la même plante. Une partie importante de la matière sèche accumulée au cours du remplissage de la graine peut encore être canalisée vers les parties végétatives et la sénescence n'est donc pas rapide. Le haricot mungo nodule bien avec des souches de *Bradyrhizobium* du groupe d'inoculation croisée du niébé. Etant donné que ces souches sont assez courantes, le haricot mungo se montre peu réactif à l'inoculation.

Ecologie Le haricot mungo est une plante de saison chaude qui pousse surtout à des températures moyennes comprises entre 20–40°C, la température optimale étant de 28–30°C. On peut donc le cultiver en été et en automne dans les régions chaudes tempérées et subtropicales et sous les tropiques à des altitudes inférieures à 2000 m. Il est sensible au gel. La pluviométrie annuelle moyenne des régions où il est produit est de 600–1000 mm, mais il peut se contenter de moins. Il supporte bien la sécheresse, en écourtant sa période de floraison et de maturation, mais il est sensible à l'asphyxie racinaire. Une humidité élevée au moment de la maturité endommage les graines et entraîne leur décoloration ou une germination sur pied. Les cultivars de haricot mungo diffèrent nettement dans leur sensibilité à la photopériode, mais la plupart des génotypes présentent des réponses quantitatives de jours courts, l'initiation florale étant retardée par des photopériodes supérieures à 12–13 heures.

Le haricot mungo pousse sur de nombreux types de sols, mais il préfère les sols limoneux bien drainés ou les limons sableux avec un pH de (5–)5,5–7(–8). Certains cultivars sont tolérants aux sols moyennement alcalins et salins.

Multiplication et plantation Le haricot mungo se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines est de 15–40 g. Les graines ne sont pas dormantes, mais la germination peut être affectée par un tégument dur. Le haricot mungo se sème à la volée ou en trous sur des buttes ou en lignes. Les taux de semis recommandés sont de 5–30 kg/ha en culture pure, et de 3–4 kg/ha en culture intercalaire. Les espacements recommandés sont de 25–100 cm × 5–30 cm. Avec les cultivars les plus modernes mûrissant en 60–75 jours, on obtient des rendements maximum à des densités de 300 000–400 000 pieds/ha. Les cultivars traditionnels, à maturation plus tardive, nécessitent généralement un espacement plus large. Au Kenya, les espacements recommandés pour le haricot mungo en culture pure sont de 45 cm entre les lignes et de 15 cm sur la ligne, à une densité de semis de 6–10 kg/ha et une profondeur de semis de 4–5 cm.

Le haricot mungo peut se cultiver en association avec d'autres plantes telles que la canne à sucre, le maïs, le sorgho, ou des arbres cultivés dans les systèmes agroforestiers. Le mungo à cycle court est souvent cultivé en relais pour tirer parti d'une courte période de culture. Au Kenya, la culture du mungo est généralement pratiquée intercalée avec du maïs, du sorgho ou du mil ; mais il est parfois cultivé seul ou en association avec d'autres légumes secs. L'usage consiste à disposer 1–2 lignes de haricot mungo entre les lignes d'une céréale, ou de le planter sur la ligne de la céréale.

Gestion En culture pure, il faut désherber 1–2 fois en début de croissance. Au Kenya, le désherbage se pratique à la houe et à la machette. Les paysans n'ont pas l'habitude d'employer d'engrais minéraux sur une culture de haricot mungo. Le mungo utilise les résidus d'engrais épandus pour les principales cultures du système de rotation, mais il répond bien au phosphore. L'exportation de nutriments par t

de graines récoltée (poids sec) est de 40–42 kg de N, 3–5 kg de P, 12–14 kg de K, 1–1,5 kg de Ca, 1,5–2 kg de S et 1,5–2 kg de Mg. Mais elle est bien plus élevée lorsqu'on enlève les résidus de la culture pour les utiliser comme fourrage.

Dans sa principale région de production, les tropiques de mousson, le mungo est surtout une culture de saison des pluies sur sol sec, ou une culture de saison sèche après la mousson dans les systèmes de riziculture inondée, qui tire alors parti de l'humidité résiduelle ou d'une irrigation supplémentaire. Dans certaines régions où les pluies surviennent tôt et en quantité suffisante, il est possible de pratiquer une culture tôt dans la saison avant la mousson. Dans les régions semi-arides du Kenya où les précipitations sont de 600–800 mm, bien réparties sur 2 saisons des pluies, on peut avoir deux cultures par an. Dans le projet de développement intégré Wei Wei à Sigor (Kenya), le haricot mungo est produit sous irrigation. En Inde, on sème souvent le mungo comme plante de jachère sur les terres à riz, où il sert d'engrais vert.

Maladies et ravageurs Les maladies fongiques les plus importantes et les plus répandues du mungo sont la cercosporose (*Cercospora canescens*) et l'oïdium (*Erysiphe polygoni*). Moins graves sont les anthracnoses (*Elsinoë iwatae*, *Colletotrichum lindemuthianum*) et la rouille (*Uromyces* spp.). D'importantes maladies bactériennes sont les graisses provoquées par *Xanthomonas* et *Pseudomonas* spp. Le haricot mungo souffre de plusieurs maladies virales qui cependant ne sont pas bien décrites, à l'exception du virus de la mosaïque jaune du mungo (MYMV), répandue en Asie du Sud.

Les principaux insectes ravageurs sont les pucerons (*Aphis fabae*, *Aphis craccivora*), la mouche du haricot (*Ophiomyia phaseoli*), les thrips (*Megalurothrips sjostedti*), les insectes foreurs des gousses (*Heliothis* spp., *Etiella zinckenella*, *Maruca testulalis*) et les suceurs de gousses comme la punaise verte (*Nezara viridula*). Dans les régions sèches du Kenya, le charançon (*Apion soleatum*) peut provoquer de lourdes pertes. Les stocks de graines de mungo sont attaqués par les bruches (*Callosobruchus* spp.). En Afrique, il est courant d'utiliser la cendre obtenue avec les feuilles du nim (*Azadirachta indica* A.Juss.) ou la bouse de vache pour protéger les graines contre les ravageurs des greniers. On a rarement recours aux insecticides sur le mungo en Afrique tropicale.

Récolte Lorsqu'il est produit pour sa graine mûre, le haricot mungo est généralement récolté lorsque les gousses commencent à foncer. La récolte nécessite une main d'œuvre importante car la plupart des cultivars locaux de haricot mungo ont des gousses très sensibles à l'égrenage, et qui ne mûrissent pas toutes en même temps. La récolte se fait généralement à la main en 2–5 passages, à intervalles d'une semaine. Au Kenya, on récolte les gousses une à une au fur et à mesure de leur maturation. S'il la maturité est uniforme, c'est la plante entière que l'on récolte et que l'on fait sécher avant battage. Les cultivars à cycle court, qui mûrissent plus uniformément, peuvent être traités en plantes entières avec de petites batteuses à riz. L'efficacité de la récolte diffère beaucoup d'un cultivar à l'autre, selon la position des gousses (au-dessus du feuillage ou au milieu) et leur taille.

Rendements Les rendements moyens du mungo sont faibles : 300–700 kg/ha. Au Kenya, on a obtenu des rendements sous irrigation de 1,25 t/ha. Et au cours d'essais, des rendements supérieurs à 3 t/ha ont été obtenus.

Traitement après récolte On fait sécher au soleil les gousses cueillies à la main. On peut accélérer l'égrenage en battant les plantes avec un bâton ou en les foulant aux pieds. Le nettoyage des graines se fait par criblage et vannage, puis on procède au séchage jusqu'à un taux d'humidité de 10–12% avant stockage. Correctement séchées, les graines conservent longtemps une viabilité élevée. Mais les semences stockées par les petits paysans sont souvent de qualité médiocre en raison des dégâts causés par les bruches.

Pour obtenir des germes de haricot mungo, on met les graines à tremper une nuit, on les égoutte, on les place dans des récipients à l'obscurité, on les asperge d'eau chaude à intervalles de quelques heures, et on les maintient 4–5 jours à une température de 24°C et à une humidité relative de l'air de 60–70%. Un kilo de graines produit 6–10 kg de germes.

Ressources génétiques D'importantes collections de ressources génétiques de haricot mungo sont détenues aux Philippines (National Plant Genetic Resources Laboratory, University of the Philippines Los Baños (UPLB) à Los Baños, environ 6900 entrées), à Taïwan (Centre de recherche et de développement sur les légumes en Asie (AVRDC), à Shanhua, environ 5600 entrées), aux Etats-Unis (Southern Regional Plant Introduction Station, à Griffin, en Géorgie, environ 3900 entrées), en Inde (National Bureau of Plant Genetic Resources, à New Delhi, environ 3000 entrées) et en Chine

(CAAS, à Pékin, environ 3000 entrées).
En Afrique tropicale, des collections de ressources génétiques de mungo sont détenues au Kenya (National Genebank of Kenya, Crop Plant Genetic Resources Centre, KARI, à Kikuyu, 330 entrées), au Nigeria (Institut international d'agriculture tropicale, à Ibadan, 125 entrées) et en Ethiopie (Institut international de recherche sur le bétail, à Addis Abeba, 40 entrées).

Sélection Dans nombre de régions de culture traditionnelle du haricot mungo, les paysans continuent à utiliser les anciennes variétés locales. De nombreux cultivars ont été mis au point à partir de ces variétés par sélection généalogique. Les types traditionnels tardifs et rustiques peuvent être remplacés par de nouveaux types, utilisables lors de saisons courtes et en culture dérobée où le mungo n'occupe la terre que pendant de courtes périodes entre les cultures principales. Ces types nouveaux sont des plantes de petite taille à indice de récolte élevé, à sensibilité réduite à la photopériode et à maturité relativement homogène. De nombreux cultivars modernes offrant une meilleure résistance aux maladies et ravageurs les plus importants ont été mis sur le marché dans la plupart des pays producteurs. Des sources de résistance ont été identifiées dans des ressources génétiques de haricot mungo et des espèces apparentées. Parmi les espèces asiatiques de *Vigna*, c'est le haricot urd (*Vigna mungo*) qui semble le plus prometteur pour l'hybridation interspécifique avec le mungo. L'AVRDC de Taïwan travaille sur la sélection de mungo tolérant aux maladies (cercosporose, oïdium) et aux ravageurs (mouche du haricot, bruches).
Les données sur la sélection du haricot mungo en Afrique sont rares. Au Kenya, le National Dryland Farming Research Station de Machakos travaille sur l'amélioration génétique du mungo depuis la fin des années 1970. Les ressources génétiques ont été collectées sur place et introduites d'ailleurs, en particulier de l'Inde et de l'AVRDC. Des lignées prometteuses ont été sélectionnées et 2 cultivars ('KVR22' et 'KVR26') ont été mis sur le marché. 'KVR22' a une croissance déterminée et des graines de couleur jaune doré ; il fleurit en 55–60 jours et mûrit de façon homogène en 80–90 jours après la germination. Il a fait preuve d'une forte résistance au MYMV, d'une résistance modérée à l'oïdium et d'une tolérance aux pucerons, mais il est sensible aux thrips et au charançon. 'KVR26' a une croissance déterminée et la couleur de ses graines est verte ; il fleurit en 40–45 jours, et mûrit de façon relativement homogène en 60–65 jours. Il est très apprécié pour son rendement élevé, sa précocité et la grosseur de ses graines.
La régénération directe in vitro de la plante est possible à l'aide d'une culture de méristèmes apicaux, de cotylédons et d'explants de nœuds de cotylédons. Une régénération par organogenèse à partir de culture de tissus a également été signalée. L'embryogenèse somatique a été induite à partir de cotylédons mûrs, d'hypocotyle, de segments nodaux et d'explants de feuille. L'AVRDC a recours aux marqueurs moléculaires dans la sélection pour la résistance aux maladies et ravageurs, et a travaillé sur la cartographie génétique par RFLP et électrophorèse d'isozymes. On a réussi la transformation génétique du mungo au moyen d'*Agrobacterium*.

Perspectives Le haricot mungo est une culture adaptée à l'Afrique tropicale, en particulier aux régions semi-arides, en raison de la brièveté de son cycle cultural et de sa qualité nutritionnelle. Il offre de plus un créneau sur le marché international pour la production de germes de mungo. Mais il ne s'est pas encore imposé en Afrique tropicale, ce qui peut s'expliquer par la faiblesse de ses rendements, sa sensibilité aux maladies et ravageurs, son besoin élevé de main d'œuvre (désherbage, récolte), le manque de cultivars adaptés et de semences de bonne qualité, et le manque d'information sur ses bénéfices potentiels. Il mérite par conséquent plus d'attention de la recherche et de la vulgarisation.

Références principales Dana & Karmakar, 1990; Kay, 1979; Lawn, 1995; Lawn & Ahn, 1985; Mayeux, 1990; Ministry of Agriculture and Rural Development, 2002; Muthoka & Shakoor, 1988; Poehlman, 1991; Siemonsma & Arwooth Na Lampang, 1989; Westphal, 1974.

Autres références Avenido, Motoda & Hattori, 2001; Burkill, 1995; Chiu & Fung, 1997; Devi et al., 2004; Dookun, 2001; Duke, 1981; du Puy et al., 2002; Gillett et al., 1971; Hafeez, Asad & Malik, 1991; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; Huijie et al., 2003; ILDIS, 2005; Jaiwal et al., 2001; Joshi & Saxena, 2002; Madar & Stark, 2002; Mugova & Mavunga, 2000; Thulin, 1989a; Tindall, 1983; USDA, 2004; Wu et al., 2001.

Sources de l'illustration Siemonsma & Arwooth Na Lampang, 1989.

Auteurs K.K. Mogotsi
Basé sur PROSEA 1: Pulses.

VIGNA SUBTERRANEA (L.) Verdc.

Protologue Kew Bull. 35(3) : 474 (1980).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Glycine subterranea* L. (1763), *Voandzeia subterranea* (L.) DC. (1825).

Noms vernaculaires Voandzou, pois de terre, pois bambara (Fr). Bambara groundnut, bambarra groundnut, earth pea, jugo bean (En). Mancara de Bijagó, jinguba de Cabambe (Po). Njugu mawe (Sw).

Origine et répartition géographique Le centre d'origine du voandzou est probablement le nord-est du Nigeria et le nord du Cameroun. On le trouve à l'état sauvage depuis le centre du Nigeria jusqu'au sud du Soudan, et il est désormais cultivé dans toute l'Afrique tropicale, et dans une moindre mesure dans les parties tropicales des Amériques, d'Asie et d'Australie. Son utilisation en tant que légume sec en Afrique de l'Ouest a été rapportée par des voyageurs arabes au XIVe siècle. Son importance a diminué suite à l'introduction de l'arachide en provenance des tropiques du Nouveau Monde.

Usages Le voandzou est cultivé surtout pour ses graines, qui sont utilisées dans de nombreux aliments, dont certains représentent une importante partie du régime alimentaire et jouent un rôle dans les cérémonies traditionnelles (par ex. les rites funéraires) et les échanges de cadeaux. Les graines sèches et mûres sont bouillies et consommées comme un légume sec. Les graines séchées, entières ou cassées, sont aussi mélangées avec du maïs ou du plantain puis bouillies. On peut moudre les graines en farine, quelquefois après les avoir grillées, pour préparer une bouillie. Elles peuvent également être ajoutées à la farine de maïs pour enrichir des mets traditionnels. Quelquefois les graines sont prétrempées dans l'eau et moulues pour former une pâte utilisée pour préparer des plats frits ou cuits à la vapeur. Les graines immatures sont souvent bouillies avec du sel et consommées comme en-cas. Elles peuvent combler la disette de la fin du cycle agricole, lorsque les greniers sont vides et que les cultures ne sont pas encore prêtes à être récoltées. Du lait végétal et des produits fermentés ressemblant à du tempe (de *Glycine max* L.) et au dawadawa (*Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br. ex G.Don) peuvent être fabriqués à partir des graines.



Vigna subterranea – planté

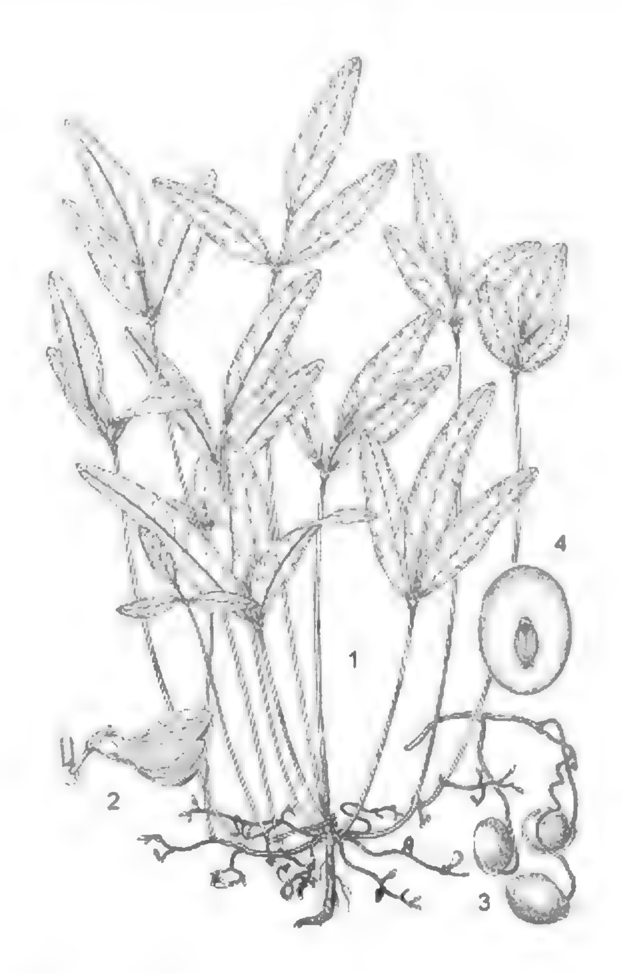
Les graines sont données aux porcs et aux volailles, et les tiges feuillées servent de fourrage. Au Sénégal, des préparations de feuilles sont utilisées pour traiter les abcès et les plaies infectées, le jus de la feuille est appliqué sur les yeux pour traiter l'épilepsie, et les racines sont parfois prises comme aphrodisiaque. Des graines pilées mélangées avec de l'eau sont administrées pour traiter la cataracte. Les Igbos du Nigeria utilisent la plante pour traiter les maladies vénériennes.

Production et commerce international Des données de production fiables sont difficiles à obtenir pour le voandzou, car la plante est principalement cultivée pour l'autoconsommation et la vente sur les marchés locaux. Au début des années 1980, la production mondiale annuelle était estimée aux alentours de 330 000 t, dont 45–50% étaient produits en Afrique de l'Ouest. Les principaux pays producteurs sont le Burkina Faso, le Tchad, la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Mali, le Niger et le Nigeria, mais la culture est également largement pratiquée dans l'est et le sud de l'Afrique et à Madagascar. Les principaux pays exportateurs sont le Burkina Faso, le Tchad, le Mali, le Niger et le Sénégal ; ils fournissent les marchés du Bénin, du Ghana, du Nigeria et du Togo.

Propriétés Les graines immatures crues de voandzou contiennent par 100 g de partie comestible : eau 57,3 g, énergie 636 kJ (152 kcal), protéines 7,8 g, lipides 3,1 g, glucides 30,0 g, fibres 3,0 g, cendres 1,8 g, Ca 14 mg, P 258 mg et Fe 1,2 mg. La composition de graines mûres sèches, par 100 g de partie comestible, est de : eau 10,3 g, énergie 1537 kJ (367 kcal), protéines 18,8 g, lipides 6,2 g, glucides 61,3 g, fibres 4,8 g, cendres 3,4 mg, Ca 62 mg, P 276 mg, Fe 12,2 mg, β-carotène 10 μg, thiamine 0,47 mg,

riboflavine 0,14 mg, niacine 1,8 mg et traces d'acide ascorbique (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en acides aminés essentiels, par 100 g d'aliment, est de : tryptophane 192 mg, lysine 1141 mg, méthionine 312 mg, phénylalanine 991 mg, thréonine 617 mg, valine 937 mg, leucine 1385 mg et isoleucine 776 mg (FAO, 1970). Comme pour d'autres légumes secs, les acides aminés soufrés, cystine et méthionine, sont limitants. Les principaux acides gras dans l'huile des graines sont l'acide palmitique 18–24%, l'acide stéarique 5–12%, l'acide oléique 18–24%, l'acide linoléique 34–40%, l'acide linolénique 2–3% et l'acide béhénique 3–7%. Cependant, on a également observé un taux d'acide linolénique de 21% sans présence d'acide oléique. Le rapport entre les acides gras saturés et insaturés est environ de 1:2. La teneur en huile des graines est trop faible pour qu'elles soient utilisées comme oléagineux. Il y a inhibition de la trypsine. Les graines contiennent des tanins, principalement dans le tégument. Dans des études comparatives au Botswana et au Ghana, les taux de tanins étaient faibles dans les graines de couleur crème, moyens dans les graines rouges et élevés dans les graines noires. La cuisson et d'autres modes de transformation (par ex. le trempage, la mouture, le décorticage, la germination, la fermentation) réduisent la concentration en facteurs antinutritionnels. Les graines mûres sont très dures et doivent habituellement être cuites plus longtemps que celles d'autres légumineuses. Les graines de couleur crème sont souvent préférées aux graines rouges et noires, car elles sont moins amères ("plus sucrées") et prennent moins de temps à cuire. Les grosses graines sont plus appréciées que les petites, par ex. comme amuse-gueule ; les petites graines sont broyées en farine pour être utilisées dans différentes recettes. Les feuilles séchées pour le fourrage contiennent 15,9% de protéines brutes, 31,7% de fibres brutes, 7,5% de cendres et 1,8% de lipides.

Description Plante herbacée annuelle à tiges rampantes qui se ramifient juste au-dessus de la surface du sol ; système racinaire constitué d'un pivot avec des racines latérales plus profondes, à nodules arrondis et parfois lobés. Feuilles alternes, 3-foliolées, glabres ; stipules d'environ 3 mm de long, éperonnées, striées ; pétiole érigé, cannelé, atteignant 30 cm de long, épaissi à la base, rachis de (0,1–)1–2,5 cm de long ; stipelles ovales-oblongues, atteignant 3 mm de long ; pétiolules de 1–3 mm de long ; folioles elliptiques à oblancéolées, de



Vigna subterranea – 1, port de la plante en fleurs ; 2, fleur ; 3, fruits ; 4, graine.
Source: PROSEA

3–10 cm × 1–5 cm. Inflorescence : fausse grappe axillaire, proche du sol, à (1–)2(–3) fleurs ; pédoncule de 0,5–2 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées, sur un pédicelle court ; calice à tube d'environ 1 mm de long et 5 lobes d'environ 1 mm de long ; corolle jaune blanchâtre, étendard obovale, de 4–7 mm de long, ailes et carène légèrement plus courtes ; étamines 10, dont 9 aux filets connés sur plus de la moitié de leur longueur et 1 libre ; ovaire supère, 1-loculaire, à style courbé. Fruit : gousse indéhiscente presque globuleuse d'environ 2,5 cm de diamètre, contenant habituellement 1 graine. Graines de 8,5–15 mm × 6,5–10 mm × 5,5–9 mm, colorées diversement en blanc, crème, rouge, noir ou brun, parfois mouchetées, tachetées ou rayées ; œil autour du hile parfois présent, de forme et de couleur variable. Plantule à germination hypogée.

Autres données botaniques Le genre *Vigna*, qui comprend environ 80 espèces, se rencontre partout dans les régions tropicales. Cependant, il est probable que les espèces américaines seront placées dans un genre séparé

dans un avenir proche. Il existe des différences morphologiques considérables entre les types de voandzou sauvages et domestiqués. Le voandzou sauvage produit de longs stolons, les gousses sont minces et ne se rident pas au séchage, et les graines sont petites (9–11 mm de long) et de taille uniforme. Les formes domestiquées sont plus compactes, avec des pétioles plus longs, moins fins et plus érigés, des gousses charnues qui se rident au séchage, et des graines plus grandes (11–15 mm de long). Les données morphologiques et isozymiques indiquent une gradation du voandzou sauvage vers le voandzou domestiqué en passant par les populations adventices. Des types sauvages et domestiqués sont parfois distingués en tant que var. *spontanea* (Harms) Hepper (sauvage) et var. *subterranea* (cultivé). Il n'y a pas de cultivars de voandzou nommés, mais des génotypes sont distingués sur la base des caractéristiques des graines (couleur, taille, dureté) et le port de la plante (buissonnant ou étalé). Parfois les noms sont basés sur le lieu où les graines ont été collectées.

Croissance et développement La température optimale pour la germination du voandzou est de 30–35°C ; en dessous de 15°C et au-dessus de 40°C, la germination est très faible. La levée prend 5–21 jours. La croissance végétative peut continuer après que la phase reproductive a débuté. La floraison commence 30–55 jours après le semis et peut continuer jusqu'à la mort de la plante. L'autofécondation est de règle. Après la fécondation, le pédoncule se développe et les gousses sont formées sur ou sous la terre. Les gousses atteignent leur taille maximale au bout de 30 jours environ. Les graines grossissent et atteignent la maturité pendant les 10 jours suivants, lorsque la couche parenchymateuse entourant l'embryon a disparu et que des taches brunes apparaissent à l'extérieur de la gousse. Les graines sont mûres 3–6 mois après la germination. Le voandzou est capable de fixer l'azote atmosphérique en formant des nodules avec des bactéries du groupe *Bradyrhizobium*.

Ecologie Le voandzou est cultivé dans les tropiques à des altitudes atteignant 2000 m. Une période sans gel d'au moins 3 mois est nécessaire. Des températures journalières moyennes de 20–28°C et une pleine exposition au soleil ont sa préférence. La plante tolère la sécheresse et est cultivée avec succès dans des régions à pluviométrie annuelle moyenne de 600–750 mm, quoique les meilleurs rendements soient obtenus lorsque la pluviométrie est plus élevée (900–1200 mm/an). Elle pousse également en conditions humides, par ex. dans le nord de la Sierra Leone, où la pluviométrie annuelle dépasse 2000 mm. Il y a des différences considérables entre les génotypes en ce qui concerne leur réaction à la température et à la photopériode. Chez beaucoup de génotypes, la floraison n'est pas sensible à la photopériode, alors que la formation des gousses est retardée par des photopériodes longues. Chez certains génotypes, la floraison comme la formation des gousses sont retardées par des photopériodes longues. La fructification peut également être retardée par la sécheresse.

La plante pousse sur tout type de sol bien drainé, mais des limons sableux légers avec un pH de 5,0–6,5 sont les plus appropriés. Des sols riches en phosphore et en potassium lui sont favorables, mais les sols calcaires ne le sont pas. Des sols riches en azote favorisent la croissance végétative aux dépens du rendement en graines. Les sols sableux favorisent la pénétration des gousses dans le sol, mais l'incidence des nématodes est généralement plus élevée sur sols sableux que sur sols limoneux.

Multiplication et plantation Le voandzou se multiplie par graines. Les graines sont orthodoxes et peuvent être stockées en dessous de 0°C. Le poids de 1000 graines est de 500–750 g ; les densités de semis varient de 25–160 kg/ha, selon le système de culture et le climat. Les semences sont habituellement gardées à partir d'une précédente récolte ou achetées sur des marchés locaux. Le matériel végétal est habituellement choisi après la récolte sur base des caractéristiques des graines et non sur les caractéristiques de la plante. Souvent on choisit de planter de grandes graines. Les semences sont stockées dans des sacs, des bouteilles ou des calebasses qui sont parfois scellées avec de la boue. Elles doivent être écossées juste avant le semis afin de garder un maximum de viabilité, et elles sont par ailleurs rarement prétraitées.

Le voandzou n'est généralement pas semé immédiatement après les premières pluies, car les cultures vivrières et les cultures de rapport tendent à être prioritaires. Les dates de semis varient considérablement dans une même région. En Zambie et au Botswana, par exemple, les semis ont lieu de novembre à février. Des semis tardifs peuvent cependant engendrer des réductions de rendement importantes. Quelquefois on pratique le semis échelonné, par ex. au Sukumaland, en Tanzanie. La terre est net-

toyée et peut être labourée et billonnée avant le semis. Au Botswana, les champs sont quelquefois labourés après un semis à la volée. La culture vient bien dans des champs labourés profondément avec un lit de semis fin, permettant ultérieurement à la plante d'enfouir ses fruits en développement. Il est conseillé de mettre en place des billons si le sol est peu profond ou sujet à l'engorgement. Le voandzou peut être semé sur des buttes, comme au Ghana. Lorsqu'un semis est effectué dans une nouvelle parcelle, une inoculation avec du sol provenant d'une ancienne parcelle de voandzou est recommandée afin de favoriser la nodulation par les bactéries rhizobiennes.
Le voandzou est semé en ligne ou à la volée ; les densités varient de 2500 pieds/ha (culture mixte au Botswana) à 250 000 pieds/ha (culture pure au Nigeria). La distance interligne peut être de 20–40 cm (au Nigeria) à 50–100(–400) cm (au Botswana). L'espacement sur la ligne peut être de 20–40 cm (au Nigeria) à 10–100 cm (au Botswana). La production de matière sèche du voandzou est faible, et de fortes densités sont recommandées. Cependant, de fortes densités ne sont possibles que lorsque la pluviométrie et la fertilité du sol sont suffisantes. Par ailleurs, un espacement rapproché rend le buttage difficile. Les graines sont souvent placées dans des trous, en laissant tomber 1–4 graines dans chaque trou et en le recouvrant de sol. Parfois on utilise un semoir, ou bien les graines sont semées juste derrière la charrue. En culture pluviale, une profondeur de semis d'au moins 6 cm est recommandée dans les sols sableux, mais les paysans sèment souvent moins profondément. Un éclaircissage peut être pratiqué, souvent en même temps que le désherbage. Lorsqu'il y a des problèmes d'établissement, les vides sont parfois complétés avec des graines ou des plantes démariées à un autre endroit. Le voandzou peut être cultivé en culture intercalée avec des céréales, d'autres légumes secs, des cultures à racines et à tubercules, ou des légumes. On le cultive souvent en association avec du maïs, du sorgho, du mil, de l'arachide ou du niébé. Le voandzou est surtout cultivé par de petits paysans, souvent des femmes, en général sur de petites parcelles (rarement supérieures à 0,5 ha).

Gestion Le désherbage du voandzou a lieu 1–3 fois, souvent à la houe. Il est courant de recouvrir les jeunes gousses de terre, ceci pouvant être effectué manuellement, à la houe ou avec un outil tracté par un bœuf. Le buttage améliore les rendements, mais consomme de la main d'œuvre ; il est souvent associé au désherbage. Les besoins en azote peuvent être couverts par la fixation de l'azote symbiotique. Des taux de fixation d'azote atteignant 100 kg/ha ont été signalés, mais une disponibilité suffisante en phosphore est nécessaire pour la nodulation. L'utilisation du fumier animal ou d'engrais chimiques n'est pas courante. Des recherches au Botswana ont montré que dans les conditions courantes, l'apport d'engrais azoté n'est pas recommandé, alors qu'un apport de phosphore n'est bénéfique que s'il est fait près des plantules dans les 2 semaines suivant le semis et lorsque le sol est humide pendant cette période.
Le voandzou est utilisé en rotation, par ex. avec du maïs, du sorgho, du mil, du manioc et de l'igname. Les paysans du Swaziland et de certaines régions d'Afrique du Sud préfèrent semer du voandzou immédiatement après la jachère, pour maximiser les rendements.

Maladies et ravageurs Bien que le voandzou est considéré être généralement moins affecté par les maladies et ravageurs que l'arachide ou le niébé, plusieurs maladies et ravageurs peuvent provoquer de sérieux dégâts à la culture. Les maladies fongiques les plus importantes sont la cercosporose (*Cercospora* spp.), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*) et la fusariose (*Fusarium oxysporum*). Les symptômes de la cercosporose sont des taches circulaires brun rougeâtre sur les feuilles, ainsi que des lésions sur les tiges, les pétioles, les pédoncules et les gousses. Les lésions peuvent fusionner et donner une apparence de brûlure. Si l'attaque est sévère, une défoliation a lieu et les plantes peuvent mourir prématurément. La rotation des cultures et le brûlage des débris végétaux de la saison précédente sont recommandés pour réduire les dégâts, mais la meilleure solution consiste à utiliser des génotypes plus résistants. Les symptômes d'oïdium se caractérisent par une poudre blanchâtre sur les deux faces des feuilles, particulièrement sur la face supérieure. Les feuilles infectées se dessèchent et meurent. Un traitement avec un fongicide à base de chlorothalonil s'est parfois avéré efficace. La fusariose provoque une décoloration des tissus vasculaires, un jaunissement, une nécrose et un flétrissement, et les plantes rabougrissent et finissent par mourir. La rotation des cultures peut apporter une aide, mais l'utilisation de types plus résistants semble être la meilleure façon de lutter. Parmi les autres champignons pathogènes qui affectent le voandzou, on citera *Macrophomina phaseolina*

(pourriture charbonneuse), *Phomopsis* sp. (brûlure), *Phyllosticta* spp. (taches foliaires) et *Sclerotium rolfsii* (brûlure et pourriture de la gousse). Les maladies virales comprennent le virus de la marbrure du niébé (CPMoV), le virus de la mosaïque du niébé transmis par pucerons (CABMV), et le virus de la marbrure de l'arachide (PeMoV). Des génotypes résistants au virus de la marbrure du niébé ont été identifiés. Des nématodes à galles (*Meloidogyne incognita*, *Meloidogyne javanica*) peuvent sérieusement affecter les rendements.

Parmi les ravageurs des semences en cours de germination, on trouve les rongeurs, les termites, les fourmis et les vers gris (*Agrotis*). La culture sur pied peut être attaquée par des insectes ravageurs tels que les pucerons, les cicadelles de l'arachide (*Empoasca facialis* et *Hilda patruelis*), la chrysomèle brune (*Ootheca mutabilis*), et la pyrale (*Hedylepta indicata*, synonyme : *Lamprosema indicata*). Un ravageur important au Swaziland est la noctuelle (*Helicoverpa armigera*). Pour lutter contre les insectes ravageurs, on utilise des insecticides, par ex. du malathion contre les pucerons. Les feuilles peuvent aussi être consommées par des mammifères tels que les céphalophes. Les graines en cours de maturation peuvent être attaquées par des rongeurs, des fourmis, des cochons sauvages, des singes et des galagos (*Galago* spp.).

Des ravageurs importants des denrées stockées sont les bruches *Callosobruchus maculatus* et *Callosobruchus subinnotatus*, et le charançon du maïs *Sitophilus zeamais*. L'infestation débute souvent lors de la maturation des graines au champ et est ensuite introduite dans les greniers. Les graines stockées dans la cosse souffrent moins de la détérioration et des infestations par les insectes que les graines écossées. Les graines stockées sont quelquefois protégées par l'application de cendres, de produits chimiques (malathion, carbamyl) ou de produits végétaux, comme des feuilles de tabac moulues, des piments moulus ou des feuilles de basilic (*Ocimum basilicum* L.). Les plantes parasites *Alectra vogelii* Benth. et *Striga gesnerioides* (Willd.) Vatke peuvent réduire considérablement les rendements.

Récolte Le voandzou est récolté 90–180 jours après le semis, selon le génotype, les conditions écologiques et les objectifs des paysans. Comme les graines peuvent être consommées immatures ou mûres, différentes méthodes de récolte existent. Les graines immatures peuvent être récoltées lors de plusieurs passages sur les mêmes plantes. Les graines mûres sont récoltées lorsque les feuilles jaunissent et tombent, et lorsque les gousses ont durci. Dans ce dernier cas, la récolte s'effectue en arrachant les plantes à la main ou à la houe. Les feuilles sont laissées au champ ou servent à nourrir les animaux.

Rendements Les fluctuations de rendement selon les années sont grandes chez le voandzou et dépendent principalement de la pluviométrie. Le rendement en graines le plus élevé observé au champ avoisine les 4 t/ha. Les rendements moyens sont de 300–800 kg/ha, mais des rendements de moins de 100 kg/ha ne sont pas rares. Le voandzou fournit encore un certain rendement dans des conditions (sols pauvres, sécheresse) qui sont submarginales pour l'arachide.

Traitement après récolte Les gousses de voandzou sont séchées au soleil jusqu'à une teneur en eau de 12% et stockées dans des sacs ou des bidons dans des greniers ou à la maison. Elles peuvent être écossées d'abord au mortier, au fléau ou avec des écosseuses d'arachide modifiées. Le pourcentage d'écossage varie de 70–77% du poids des gousses. Le voandzou est typiquement une culture à deux fins : généralement une partie de la récolte est vendue et une partie est gardée pour l'autoconsommation. L'appertisation de graines de voandzou a été effectuée au Ghana et au Zimbabwe.

Ressources génétiques La collection la plus importante de ressources génétiques de voandzou (environ 2000 entrées en provenance d'Afrique subsaharienne) est détenue par l'IITA (Institut international d'agriculture tropicale) d'Ibadan au Nigeria. La plupart des entrées (1400) de cette collection ont été caractérisées, évaluées et documentées. D'autres collections importantes sont présentes à l'IRD (Institut de recherche pour le développement) de Montpellier, France (environ 1200 entrées cultivées et 60 entrées sauvages du Cameroun, dont 50 ont fait l'objet d'une caractérisation morphologique), à l'université de Zambie à Lusaka (460 entrées), au Grain Crops Institute à Potchefstroom en Afrique du Sud (200 entrées) et au Plant Genetic Resources Centre à Accra au Ghana (170 entrées). Dans de nombreux pays africains, des collections plus petites sont maintenues.

Lors d'études de la diversité génétique du voandzou cultivé avec des marqueurs RAPD et AFLP, on a découvert une variabilité génétique considérable, les entrées se groupant principalement selon leur origine géographique. Par-

fois, par ex. au Swaziland, les paysans sèment un mélange de variétés locales pour étaler les risques dus aux stress biotiques et abiotiques, et contribuent ainsi à maintenir la diversité de l'espèce.

Sélection L'amélioration génétique du voandzou s'est principalement limitée à la sélection entre les populations et en intra-population pour le rendement, la résistance aux maladies (fusariose et cercosporose) et la tolérance à la sécheresse. A partir de la collection de ressources génétiques de l'IITA, des génotypes ont été identifiés avec un système racinaire plus long et plus dense, qui pourraient être utiles en sélection pour une meilleure tolérance à la sécheresse. La sélection de génotypes à cycle plus court semble également utile pour les régions arides. La sélection des combinaisons de génotypes et de souches rhizobiennes les plus efficaces semble prometteuse pour améliorer la fixation de l'azote et augmenter les rendements de la plante.

Des hybrides artificiels entre génotypes cultivés et entre formes cultivées et sauvages ont été effectués au Royaume-Uni et au Swaziland, mais les taux de réussite sont généralement faibles. Une carte de liaison génétique du voandzou utilisant des marqueurs AFLP est en cours de développement au Royaume-Uni également. La micropropagation du voandzou est possible en utilisant des boutures de nœuds de tige ou des axes d'embryon.

Perspectives Le voandzou est une espèce adaptée aux régions semi-arides car elle tolère la sécheresse et les sols pauvres, et elle apparaît également moins affectée par les maladies et les ravageurs que le niébé ou l'arachide. Les paysans l'apprécient également pour ses usages multiples et son goût agréable. Malgré le fait que le voandzou restera une culture vivrière secondaire d'une certaine importance en Afrique, la superficie cultivée va probablement diminuer du fait des besoins de main-d'œuvre importants, particulièrement pour le buttage et la récolte, de l'absence d'un marché à l'exportation en dehors de l'Afrique, et de la concurrence de l'arachide et du niébé. Les perspectives du voandzou comme culture vivrière peuvent être améliorées par le développement de cultivars à haut rendement possédant une résistance accrue aux maladies et une teneur moindre en facteurs antinutritionnels. Le développement de nouveaux aliments composés avec des céréales peut également conduire à une utilisation accrue de cette espèce.

Références principales Anchirinah, Yiridoe & Bennett-Lartey, 2001; Brink, 1998; Brink, Collinson & Wigglesworth, 1997; Heller, Begemann & Mushonga (Editors), 1997; Linnemann, 1989; Linnemann, 1994; Linnemann & Azam-Ali, 1993; Massawe et al., 2003; Pasquet, Schwedes & Gepts, 1999; Sesay, Saboleh & Yarmah, 1997.

Autres références Allen & Lenné, 1998; Amarteifio, Karikari & Moichubedi, 1998; Azam-Ali (Editor), 2003; Azam-Ali et al., 2001; Burkill, 1995; Collinson et al., 1997; Dijkstra et al., 1995; Doku & Karikari, 1971; du Puy et al., 2002; FAO, 1970; Gillett et al., 1971; Goli, 1997; Kannaiyan & Haciwa, 1993; Lacroix, Assoumou & Sangwan, 2003; Leung, Busson & Jardin, 1968; Linnemann, 1988; Linnemann, 1990; Massawe, Azam Ali & Roberts, 2003; Ofori, Kumaga & Bimi, 2001; Ramolemana, 1999.

Sources de l'illustration Linnemann, 1989.

Auteurs M. Brink, G.M. Ramolemana & K.P. Sibuga

VIGNA UMBELLATA (Thunb.) Ohwi & H.Ohashi

Protologue Journ. Jap. Bot. 44(1): 31 (1969).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

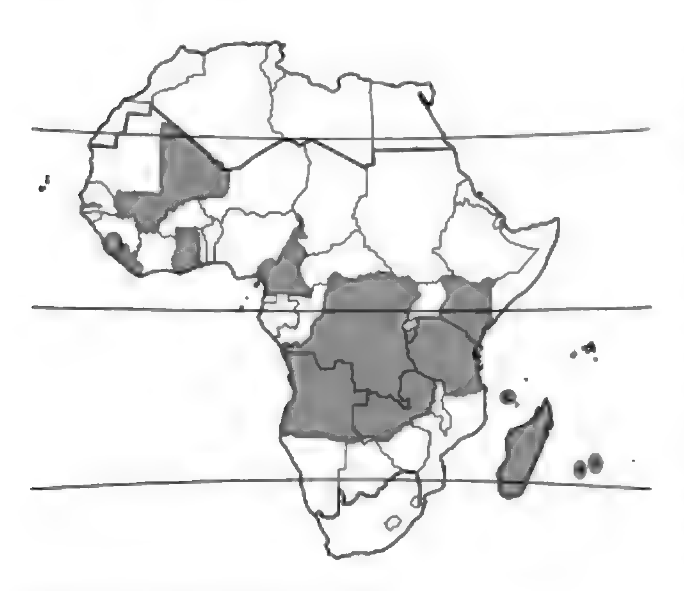
Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Phaseolus calcaratus* Roxb. (1832), *Vigna calcarata* (Roxb.) Kurz (1876).

Noms vernaculaires Haricot riz (Fr). Rice bean, red bean, climbing mountain bean (En). Feijão arroz (Po).

Origine et répartition géographique Le haricot riz est originaire d'Asie, où il est présent à l'état sauvage depuis l'Inde et la Chine centrale jusqu'à la Malaisie, en passant par l'Indochine. Il a été introduit par les Arabes en Egypte, le long de la côte est de l'Afrique et dans les îles de l'océan Indien. De nos jours, le haricot riz est largement cultivé en Asie tropicale, et dans une moindre mesure aux îles Fidji, aux Etats-Unis, en Australie, dans le sud-ouest de l'Asie, et dans la partie tropicale de l'Afrique et de l'Amérique. En Afrique tropicale, il est cultivé en Afrique de l'Ouest, en Afrique de l'Est et dans les îles de l'océan Indien et, moins souvent, en Afrique centrale et australe.

Usages Les graines mûres et sèches du haricot riz se consomment comme légume sec. On les fait généralement cuire à l'eau pour les manger avec du riz ou à la place du riz, sou-



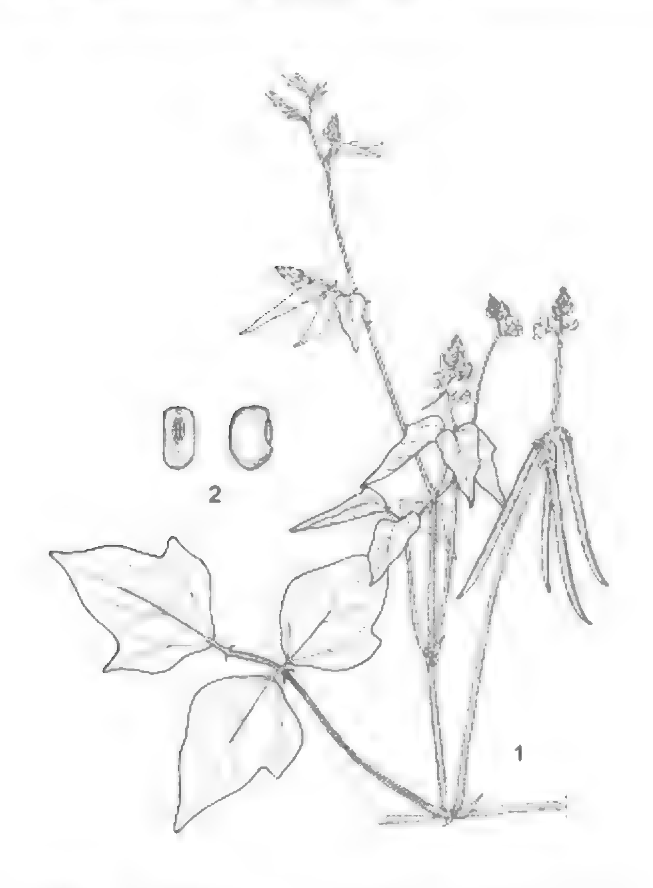
Vigna umbellata – planté

vent en soupe ou en ragoût, par ex. au Ghana. A Madagascar, la farine des graines germées séchées fait partie des compléments alimentaires donnés aux enfants. Le haricot riz est peu prisé en Inde, parce qu'il n'est pas facile d'en faire du dal en raison du mucilage fibreux qu'il contient, qui rend difficile son décorticage et la séparation des cotylédons.
Les feuilles, les jeunes gousses et les graines germées de haricot riz se mangent cuites à l'eau comme légume. En Inde, les jeunes gousses se consomment parfois crues. La plante entière sert de fourrage et on en fait du foin et de l'ensilage. Les graines servent parfois d'aliment du bétail. Le haricot riz se sème parfois aussi comme plante de couverture, comme engrais vert et comme haie vive.

Production et commerce international On ne dispose pas de statistiques de production sur le haricot riz, mais c'est une espèce produite principalement en Asie tropicale. Une petite partie de la production entre dans le commerce international. Le Japon est l'importateur principal ; les principaux exportateurs sont la Thaïlande, le Myanmar et la Chine. Madagascar en exporte également un peu ; la moyenne annuelle de ses exportations en 1998–2000 a été évaluée à 1100 t.

Propriétés La composition des graines séchées de haricot riz, par 100 g de partie comestible, est : eau 13,3 g, énergie 1369 kJ (327 kcal), protéines 20,9 g, lipides 0,9 g, glucides 60,7 g, fibres 4,8 g, Ca 200 mg, P 390 mg, Fe 10,9 mg, thiamine 0,49 mg, riboflavine 0,21 mg, et niacine 2,4 mg (Leung, Busson & Jardin, 1968). La teneur en Ca est élevée comparée à celle d'autres légumes secs, et de ce fait le haricot riz passe pour un bon aliment pour les mères qui allaitent. Parmi les facteurs antinutritionnels du haricot riz, on trouve des facteurs inhibiteurs de trypsine, des phytates, des tanins et des oligosaccharides. Le trempage, la germination, le décorticage et la cuisson parviennent à diminuer considérablement ces facteurs. Les graines de haricot riz ne contiennent pas d'hétérosides cyanogéniques. Les concentrés de protéines préparés à partir de graines de haricot riz ont révélé des effets anti-hypercholestérolémiants chez les hamsters in vivo. Un peptide isolé à partir de graines de haricot riz a montré une forte activité antifongique contre *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* et *Mycosphaerella arachidicola*. Il s'avère avoir en outre une activité mitogène et inhibitrice de la transcriptase inverse du VIH-1.
Au stade végétatif, la plante de haricot riz (teneur en eau de 84%) contient, sur la matière sèche : 18,0% de protéines brutes, 1,1% de lipides, 31,5% de fibres brutes, 39,9% d'extrait sans azote, 9,5% de cendres, 1,4% de Ca et 0,35% de P. Au stade de la floraison (teneur en eau de 76%), il contient, sur la matière sèche : 14,5% de protéines brutes, 1,0% de lipides, 32,1% de fibres brutes, 41,6% d'extrait sans azote, 10,8% de cendres, 1,2% de Ca et 0,4% de P. Sa croissance végétative vigoureuse rend le haricot riz propre à une utilisation comme plante de couverture et engrais vert.

Description Plante herbacée annuelle grimpante, à tiges atteignant 3 m de long ; tige cannelée, généralement revêtue de fins poils caducs et tournés vers le bas ; racine pivotante atteignant 1,5 m de long. Feuilles alternes, trifoliolées ; stipules lancéolées, d'environ 1,5 cm de long ; pétiole de 5–10 cm de long ; stipelles linéaires-lancéolées, d'environ 0,5 cm de long ; folioles largement ovales à ovales-lancéolées, de 5–10(–13) cm × 1,5–6(–7) cm, entières ou 2–3-lobées, folioles latéraux à côtés inégaux, membraneuses, presque glabres. Inflorescence : fausse grappe axillaire érigée, de 3–10 cm de long, à 5–20 fleurs généralement en paires ; pédoncule atteignant 20 cm de long. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle d'environ 5 mm de long ; calice campanulé, d'environ 4 mm de long, à 5 dents ; corolle jaune vif, étendard de 1,5–2 cm de diamètre ; ailes grandes et larges, enfermant la carène ; carène à bec arqué et à poche conique sur l'un des côtés ; étamines 10, dont 9 connées en un tube, étamine supérieure libre ; ovaire supère, 1-loculaire, style élargi et courbé. Fruit : gousse li-



Vigna umbellata – 1, rameau en fleurs et en fruits ; 2, graines.
Source: PROSEA

néaire-cylindrique, de 6–13 cm × 0,3–0,6 cm, tournée vers le bas, glabre, verte à l'état jeune, noir-brun à maturité, à 6–8(–16) graines. Graines oblongues, de 5–10 mm × 2–5 mm × 3–4 mm, lisses, jaunes, vertes, rouge foncé, brunes, noires, mouchetées ou marbrées ; hile excentré, allongé, dissimulé par un bourrelet de couleur crème. Plantule à germination hypogée.

Autres données botaniques Le genre *Vigna*, qui comprend environ 80 espèces, se rencontre partout dans les régions tropicales. Mais les espèces tropicales américaines vont probablement bientôt être classées dans un genre distinct, ce qui réduirait ce genre à 50–60 espèces. *Vigna umbellata* fait partie du sous-genre *Ceratotropis*, qui inclut également *Vigna radiata* (L.) R.Wilczek (haricot mungo), *Vigna mungo* (L.) Hepper (haricot urd), *Vigna angularis* (Willd.) Ohwi & H.Ohashi (haricot adzuki) et *Vigna aconitifolia* (Jacq.) Maréchal (haricot mat). *Vigna umbellata* s'apparente étroitement à *Vigna angularis*, avec lequel il peut être croisé par sauvetage d'embryon et en prenant le haricot riz comme parent femelle. *Vigna minima* (Roxb.) Ohwi & H.Ohashi, une espèce sauvage d'Asie tropicale, est encore plus étroitement apparentée à *Vigna umbellata*.

Au sein de *Vigna umbellata*, 2 types ont été distingués, que l'on désigne couramment comme des variétés :

- var. *gracilis* (Prain) Maréchal, Mascherpa & Stainier, le type sauvage, aux rameaux minces, aux folioles étroites et aux pédoncules longs, qui se rencontre depuis l'Inde jusqu'à la Malaisie, les Philippines et la Chine centrale. Ce taxon ressemble beaucoup à *Vigna minima*, avec qui il est peut-être à réunir.
- var. *umbellata*, pour les types cultivés.

L'identification des cultivars s'est faite principalement sur la base de la période de maturité et la couleur des graines. A Madagascar, on distingue 2 types : le haricot riz jaune ("tsiasisa mavo") et le haricot riz rouge ("tsiasisa mena").

Croissance et développement Les jeunes plantes de haricot riz ont une croissance vigoureuse et s'établissent rapidement. A Madagascar, la floraison intervient à 70–75 jours après le semis et les graines mettent 100–135 jours pour parvenir à maturité. En Angola, la période comprise entre le semis et la maturité n'est que de 60 jours dans certains cas. Aux Philippines, il faut en moyenne 64 jours pour arriver à la floraison, et 92 jours à la maturité : en Inde, les types précoces ont un comportement similaire, tandis que les types tardifs mûrissent en 130–150 jours. Les fleurs sont auto-compatibles, mais il y a aussi des fécondations croisées.

Ecologie Le haricot riz est typiquement adapté aux basses terres tropicales humides, mais il existe des cultivars qui sont adaptés aux climats subtropicaux ou tempérés. On le trouve dans des régions où les températures moyennes sont de 18–30°C. Il est sensible au gel. Sous les tropiques, la plante peut être cultivée jusqu'à 2000 m d'altitude. A Madagascar, on la cultive jusqu'à 1000 m d'altitude. Le haricot riz se plait mieux avec des précipitations de 1000–1500 mm/an ; il tolère une sécheresse modérée. C'est une plante de jours courts à réaction quantitative. La culture du haricot riz est possible sur de nombreux types de sols, mais il pousse mieux sur des limons fertiles. Le pH optimal se situe à 6,8–7,5. Les types de haricot riz sauvage se trouvent dans les milieux ouverts et aux bords des routes.

Multiplication et plantation Le haricot riz se multiplie par graines. Le poids de 1000 graines varie beaucoup, entre 30–120(–230) g. Le haricot riz se sème habituellement à la volée, après 2–3 labours, à une densité de semis de 70–90 kg/ha. Il se sème également en lignes espacées de 30–90 cm, à une densité de semis

de 20–70 kg/ha. La norme en Inde est une densité de 40–50 kg/ha s'il s'agit d'une culture pour la graine, ou de 60–70 kg/ha s'il s'agit d'une culture dérobée destinée au fourrage. En Inde, le haricot riz est habituellement une culture de la saison "kharif", c'est-à-dire qu'elle se sème en juin–juillet et se récolte en octobre–novembre. En Asie, elle se cultive essentiellement en association, surtout avec du maïs.

Gestion D'habitude, le haricot riz ne reçoit que peu de soins. Grâce à leur croissance vigoureuse, les jeunes plantes sont capables d'étouffer les mauvaises herbes. On emploie rarement des engrais, bien qu'en Inde, le superphosphate soit recommandé à la dose de 17–26 kg P par ha. En Asie, il était très courant autrefois de semer du haricot riz après la récolte de la traditionnelle culture de riz de saison longue (d'où son nom de "haricot riz"), mais l'utilisation de cultivars de riz à cycle court permettant des cultures multiples a conduit à un déclin de cette pratique.

Maladies et ravageurs Le haricot riz est rarement la proie de maladies et de ravageurs graves, mais il est sensible aux nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.). On estime que les graines de haricot riz résistent aux ravageurs des greniers tels que les bruches *Callosobruchus analis*, *Callosobruchus chinensis* et *Callosobruchus maculatus*, en raison de la présence dans les cotylédons de substances inhibitrices de leur croissance.

Récolte Le port grimpant du haricot riz et l'égrenage de ses gousses rendent sa récolte difficile. La récolte des graines mûres, des gousses vertes et des feuilles se fait d'habitude à la main. Dans le cas d'une culture fourragère, le haricot riz doit être récolté lorsque ses gousses sont immatures, car les feuilles tombent facilement lorsque la plante arrive à maturité. S'il s'agit de produire de l'engrais vert, le haricot riz peut se labourer dès 30 jours environ après le semis.

Rendements La moyenne de rendement en graines n'est que de 200–300 kg/ha, mais ce faible chiffre est lié au cycle cultural, souvent très court. Des rendements expérimentaux jusqu'à 2500 kg/ha ont été obtenus en Inde. Pour le fourrage frais, on a obtenu des rendements de 35 t/ha.

Traitement après récolte Les graines de haricot riz sont habituellement séchées au soleil et leur battage se fait à la main. Elles se conservent bien.

Ressources génétiques De vastes collections de ressources génétiques de haricot riz sont conservées en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS), Pékin ; 1363 entrées) et en Inde (National Bureau of Plant Genetic Resources (NBPGR), New Delhi ; 902 entrées). On ne connaît aucune collection de ressources génétiques de haricot riz en Afrique. Le haricot riz n'est pas menacé d'érosion génétique, mais il faudrait continuer la prospection et la caractérisation des ressources génétiques.

Sélection Des programmes d'amélioration de haricot riz ont été mis en place, principalement en Inde, où plusieurs cultivars améliorés ont été obtenus et commercialisés. Mais on ne connaît aucun programme de sélection du haricot riz en Afrique tropicale.

Perspectives Le haricot riz est une espèce de valeur, qui mérite de faire l'objet de davantage d'essais dans toutes les régions tropicales, en raison de sa tolérance à des températures et une humidité élevées, de la brièveté de son cycle cultural, de sa résistance aux maladies et ravageurs, de la qualité nutritionnelle de ses graines et de la multiplicité de ses usages. Les limitations à la production de haricot riz sont la faiblesse des rendements et la facilité d'égrenage des gousses, qui rendent la récolte difficile. En outre, la difficulté à se procurer des ressources génétiques et le manque de données techniques sur sa culture constituent des freins importants. On connaît mal les possibilités de transformer industriellement les graines en produits dérivés, comme de la farine par exemple. En matière de recherche, la priorité est de mettre au point des cultivars érigés, à cycle court, indifférents à la longueur du jour, à fort rendement, qui ne s'égrènent pas et qui soient résistants aux nématodes. De plus, il est nécessaire d'approfondir certains aspects agronomiques (tels que date de semis, densité de plantation et besoins en engrais) et de technologies après récolte.

Références principales Arora et al., 1980; Burkill, 1995; du Puy et al., 2002; Goel, Raina & Ogihara, 2002; Kashiwaba et al., 2003; Kay, 1979; Lawn, 1995; Maréchal, Mascherpa & Stainier, 1978; National Academy of Sciences, 1979; van Oers, 1989c.

Autres références Chau, Cheung & Wong, 1998; CSIR, 1976; Das & Dana, 1987; Ellis et al., 1994; FAO, 1989; FAO, 1998; Gopinathan, Babu & Shivanna, 1986; Hanelt & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001; ILDIS, 2002; Kaga et al., 1996b; Khanda, Mohapatra & Misra, 2001; Leung, Busson & Jardin, 1968; Polhill, 1990; Rabenarivo, 1992; Ralison et al., 2004; Saharan, Khe-

tarpaul & Bishnoi, 2002; Saikia, Sarkar & Borua, 1999; Schuster et al., 1998; Tindall, 1983; Ye & Ng, 2002.

Sources de l'illustration van Oers, 1989c.

Auteurs R. Rajerison

Basé sur PROSEA 1: Pulses.

VIGNA UNGUICULATA (L.) Walp.

Protologue Repert. bot. syst. 1: 779 (1843).

Famille Papilionaceae (Leguminosae - Papilionoideae, Fabaceae)

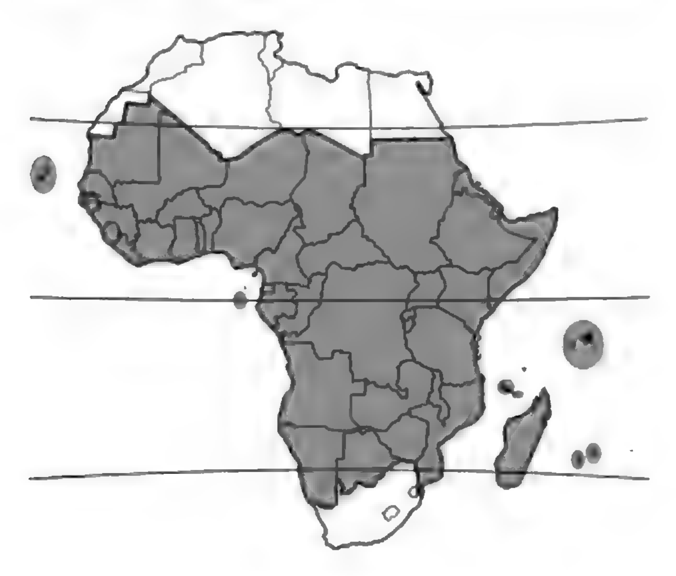
Nombre de chromosomes $2n = 22$

Synonymes *Vigna sinensis* (L.) Hassk. (1844).

Noms vernaculaires

- Niébé, haricot à l'œil noir, pois yeux noirs, cornille, voème, haricot dolique, dolique mongette (Fr). Cowpea, black-eye bean, black-eye pea, China pea, marble pea (En). Caupi, feijão frade, feijão da China, feijão miúdo, feijão macundi, makunde (Po). Mkunde (Sw).
- Haricot-kilomètre, dolique asperge (Fr). Yard-long bean, asparagus bean (En). Feijão de metro, feijão chicote, feijão espargo, feijão frade alfange (Po).
- Catjang (Fr). Catjang cowpea, Bombay cowpea (En).

Origine et répartition géographique *Vigna unguiculata* est originaire d'Afrique, où l'on trouve une grande diversité génétique chez le type sauvage sur tout le continent, l'Afrique australe étant la plus riche. Il a été introduit à Madagascar et sur d'autres îles de l'océan Indien, où on le trouve parfois échappé des cultures. Mais c'est en Afrique de l'Ouest que l'on trouve la plus grande diversité génétique de niébé cultivé, dans les zones de savane du Burkina Faso, du Ghana, du Togo, du Bénin, du Niger, du Nigeria et du Cameroun. Le niébé fut probablement introduit en Europe vers 300 avant J.-C. et en Inde vers 200 avant J.-C. Suite à la sélection par l'homme en Chine, en Inde et en Asie du Sud-Est, le niébé a connu une nouvelle diversification qui a abouti à deux groupes de cultivars : le Groupe Sesquipedalis, aux longues gousses utilisées comme légume, et le Groupe Biflora, cultivé pour ses gousses, ses graines sèches et son fourrage. Probablement introduit en Amérique tropicale au XVII[e] siècle par les Espagnols, le niébé est largement cultivé aux Etats-Unis, aux Caraïbes et au Brésil.



Vigna unguiculata – sauvage et planté

Le niébé est le légume sec le plus important des zones de savane d'Afrique occidentale et centrale, où il constitue aussi un important légume vert et une précieuse source de fourrage. En Afrique orientale et australe, il a également de l'importance aussi bien comme légume que comme légume sec. Il n'y a qu'en Afrique centrale humide qu'il est moins présent.

Usages Le niébé est le légume sec favori dans de nombreuses régions d'Afrique. On fait cuire les graines mûres et on les consomme seules ou avec des légumes, des épices et souvent de l'huile de palme, pour produire une soupe de haricots épaisse, qui accompagne l'aliment de base (manioc, igname, plantain). En Afrique de l'Ouest, on décortique les graines et on en fait de la farine que l'on mélange à des oignons émincés et des épices pour confectionner des galettes soit frites (les "boulettes d'akara"), soit cuites à la vapeur (le "moin moin"). Au Malawi, les graines sont cuites à l'eau avec le tégument intact, ou avec le tégument enlevé par trempage et en laissant les graines dans le sol pendant quelques heures. De petites quantités de farine de niébé sont transformées en biscuits, farine composée et aliments pour bébés au Sénégal, au Ghana et au Bénin.

Les feuilles ainsi que les graines et gousses immatures de niébé sont consommées comme légumes. Les feuilles se servent cuites à l'eau ou à l'huile et on les consomme généralement avec une bouillie. La feuille se conserve par séchage au soleil, préalablement bouillie éventuellement, pour permettre son utilisation pendant la saison sèche. Les feuilles destinées à être conservées pour un usage ultérieur sont généralement cueillies à la fin de la saison. Les feuilles qui se développent à la fin de la saison seraient plus savoureuses du fait qu'elles crois-

sent en conditions de stress. Au Botswana et au Zimbabwe, on pétrit les feuilles de niébé cuites à l'eau et la pulpe ainsi obtenue est compactée en petites boulettes, que l'on fait ensuite sécher pour les conserver. Avec les graines immatures, vertes et encore tendres, on prépare une soupe épaisse qui sert de condiment. Les gousses tendres et dépourvues de graines se consomment parfois comme légume cuit, de même que les jeunes gousses du haricot-kilomètre. Si cet emploi est prédominant en Asie, il est rare en Afrique. Dans l'Etat du Benue au Nigeria, les gousses d'une variété locale nommée 'Eje-O'Ha', qui ont une forme spiralée et sont sans fils et presque sans parchemin, sont blanchies pendant quelques minutes, ouvertes et coupées en deux. On mange directement les graines, mais les parois de la gousse sont quant à elles mises à sécher et conservées en vue d'une utilisation ultérieure. On consomme aussi les gousses dans certaines parties du Bénin. Les racines sont parfois consommées, par ex. en Ethiopie et au Soudan.

Le niébé sert de fourrage en Afrique de l'Ouest, en Asie (en Inde surtout) et en Australie ; soit les animaux le broutent directement, soit il est coupé et mélangé à des céréales sèches destinées à l'alimentation du bétail. Aux Etats-Unis et ailleurs, le niébé se cultive comme engrais vert et plante de couverture. Au Nigeria, on fait pousser des cultivars spéciaux pour leur fibre, extraite des pédoncules ; la fibre solide est particulièrement adaptée aux équipements de pêche et elle produit un papier de bonne qualité. Les graines sèches ont jadis été utilisées comme succédané du café.

Plusieurs usages médicinaux du niébé ont été signalés : les feuilles et les graines s'emploient en cataplasme pour traiter les enflures et les infections de la peau, les feuilles sont mâchées pour traiter les maladies dentaires, des graines carbonisées réduites en poudre sont appliquées sur les piqûres d'insectes, la racine sert d'antidote contre les morsures de serpent et pour traiter l'épilepsie, les douleurs dans la poitrine, la constipation et la dysménorrhée ; de plus, certaines parties de la plante non spécifiées sont utilisées comme sédatif pour la tachycardie et contre différentes douleurs.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale de grains secs de niébé en 1999–2003 s'élevait à environ 3,6 millions de t/an sur 9,5 millions d'ha. D'autres sources donnent même des productions plus élevées : plus de 4,5 millions de t/an sur 14 millions d'ha. D'après la FAO, 3,3 millions de t/an étaient produites en Afrique subsaharienne sur 9,3 millions d'ha, principalement en Afrique de l'Ouest (3 millions de t/an sur 8,8 millions d'ha), les principaux pays producteurs étant le Nigeria (2,2 millions de t/an sur 5,1 millions d'ha) et le Niger (400 000 t/an sur 3,3 millions d'ha). Le Brésil, qui ne figure pas dans les statistiques de la FAO sur le niébé, produirait environ 0,6–0,7 million de t/an sur 1,1–1,9 million d'ha. Les graines de niébé sont produites pour la consommation domestique, et les surplus sont vendus sur les marchés locaux. Le commerce international a lieu surtout à l'intérieur de l'Afrique de l'Ouest, les pays exportateurs se situant dans la zone sèche sahélienne, les pays importateurs dans la région côtière humide et plus densément peuplée. On a estimé qu'au moins 285 000 t ont été commercialisées entre les pays ouest-africains en 1998, principalement du Niger vers le Nigeria, mais le commerce total est probablement beaucoup plus important.

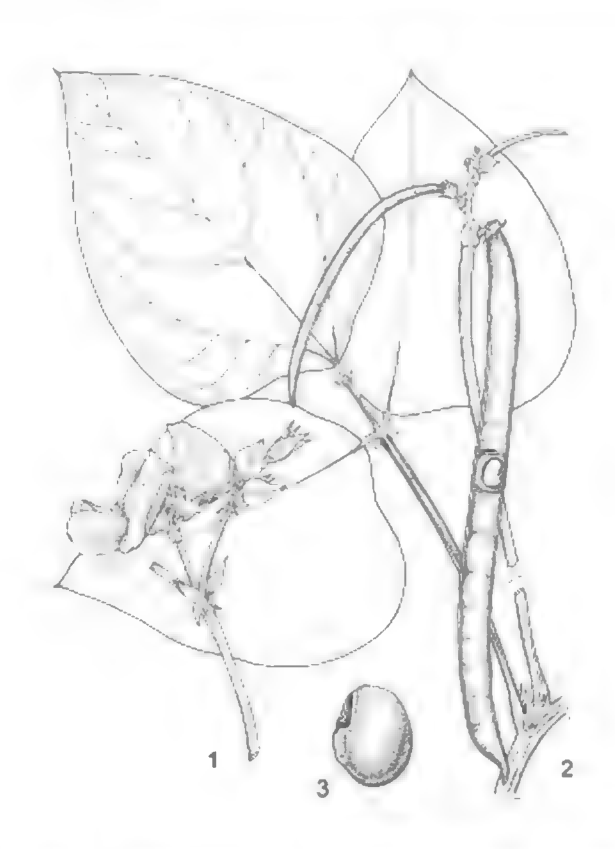
Il n'existe pas de statistiques sur les quantités de feuilles et de gousses récoltés, mais ils sont certainement très importants. Les feuilles fraîches et séchées sont très vendues sur les marchés urbains et une partie est échangée avec les pays voisins. Les feuilles séchées sont exportées sous forme de boulettes noires du Zimbabwe vers le Botswana et l'Afrique du Sud. Cultivé en Asie sur des centaines de milliers d'hectares, le haricot-kilomètre n'a qu'une importance secondaire en Afrique.

Propriétés La composition nutritionnelle des extrémités de tiges feuillées de niébé, par 100 g de partie comestible, est : eau 89,8 g, énergie 121 kJ (29 kcal), protéines 4,1 g, lipides 0,3 g, glucides 4,8 g, Ca 63 mg, Mg 43 mg, P 9 mg, Fe 1,9 mg, Zn 0,3 mg, vitamine A 712 UI, thiamine 0,35 mg, riboflavine 0,2 mg, niacine 1,1 mg, folates 101 µg, acide ascorbique 36 mg. Les jeunes gousses de niébé avec leurs graines contiennent par 100 g de partie comestible : eau 86,0 g, énergie 184 kJ (44 kcal), protéines 3,3 g, lipides 0,3 g, glucides 9,5 g, Ca 65 mg, Mg 58 mg, P 65 mg, Fe 1,0 mg, Zn 0,3 mg, vitamine A 1600 UI, thiamine 0,15 mg, riboflavine 0,15 mg, niacine 1,2 mg, folates 53 µg, acide ascorbique 33 mg. Les gousses de haricot-kilomètre contiennent par 100 g de partie comestible : eau 87,9 g, énergie 197 kJ (47 kcal), protéines 2,8 g, lipides 0,4 g, glucides 8,4 g, Ca 50 mg, Mg 44 mg, P 59 mg, Fe 0,5 mg, Zn 0,4 mg, vitamine A 865 UI, thiamine 0,1 mg, riboflavine 0,1 mg, niacine 0,4 mg, folates 62 µg, acide ascorbique 19 mg. Les grains immatures

de niébé contiennent par 100 g de partie comestible : eau 77,2 g, énergie 377 kJ (90 kcal), protéines 3,0 g, lipides 0,4 g, glucides 18,9 g, fibres 5,0 g, Ca 126 mg, Mg 51 mg, P 53 mg, Fe 1,1 mg, Zn 1,0 mg, vitamine A 0 UI, thiamine 0,1 mg, riboflavine 0,15 mg, niacine 1,45 mg, folates 168 µg, acide ascorbique 2,5 mg. Les grains mûrs contiennent par 100 g de partie comestible : eau 12,0 g, énergie 1407 kJ (336 kcal), protéines 23,5 g, lipides 1,3 g, glucides 60,0 g, fibres 10,6 g, Ca 110 mg, Mg 184 mg, P 424 mg, Fe 8,3 mg, Zn 3,4 mg, vitamine A 50 UI, thiamine 0,85 mg, riboflavine 0,23 mg, niacine 2,1 mg, vitamine B_6 0,36 mg, folates 633 µg, acide ascorbique 1,5 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de graines mûres crues, est : tryptophane 290 mg, lysine 1591 mg, méthionine 335 mg, phénylalanine 1373 mg, thréonine 895 mg, valine 1121 mg, leucine 1802 mg et isoleucine 956 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 343 mg, acide palmitique 254 mg, acide linolénique 199 mg et acide oléique 88 mg (USDA, 2004). La composition approximative en acides gras des lipides des grains de niébé est de : acides gras saturés 25%, acides gras mono-insaturés 8%, acides gras poly-insaturés 42%. Les protéines de niébé sont relativement riches en lysine, mais pauvres en acides aminés soufrés. Les grains de niébé ont une proportion de composés antinutritionnels, comme les lectines et les inhibiteurs de trypsine, plus faible que celle du haricot commun (*Phaseolus vulgaris* L.), et ils se cuisent plus facilement et plus vite.

Falsifications et succédanés Les gousses du haricot vert sont souvent utilisées dans les mêmes plats que le haricot-kilomètre, mais le goût n'est pas le même. Les grains immatures de nombreuses légumineuses s'emploient comme succédanés des grains immatures de niébé, par ex. ceux du pois (*Pisum sativum* L.), du haricot commun et du haricot de Lima (*Phaseolus lunatus* L.).

Description Plante herbacée annuelle ou vivace, grimpante, rampante ou plus ou moins érigée, cultivée comme annuelle ; racine pivotante bien développée, et racines latérales et adventives nombreuses ; tige atteignant 4 m de long, anguleuse ou presque cylindrique, légèrement côtelée. Feuilles alternes, 3-foliolées ; stipules ovales, de 0,5–2 cm de long, éperonnées à la base ; pétiole atteignant 15(–25) cm de long, cannelé sur le dessus, renflé à la base, rachis de (0,5–)2,5–4,5(–6,5) cm de long ; stipelles petites ; folioles ovales ou rhomboïdes à



Vigna unguiculata – 1, inflorescence ; 2, rameau en fruits ; 3, graine.
Source: PROSEA

lancéolées, de (1,5–)7–14(–20) cm × (1–)4–10(–17) cm, les latérales asymétriques, la centrale symétrique, entières, parfois lobées, glabres ou légèrement pubescentes, à 3 nervures partant de la base. Inflorescence : fausse grappe axillaire ou terminale atteignant 35 cm de long, à fleurs groupées près du sommet ; rachis tuberculé. Fleurs bisexuées, papilionacées ; pédicelle de 1–3 mm de long, à bractéoles spatulées et caduques ; calice campanulé, tube d'environ 5 mm de long, lobes étroitement triangulaires, d'environ 5 mm de long ; corolle rose à violette, parfois blanche ou jaunâtre, étendard très largement obovale, cucullé, d'environ 2,5 cm de long, ailes obovales, d'environ 2 cm de long, carène carénée, d'environ 2 cm de long ; étamines 10, dont 9 fusionnées et 1 libre ; ovaire supère, d'environ 1,5 cm de long, comprimé latéralement, style recourbé, garni de fins poils dans la partie supérieure, stigmate obliquement globuleux. Fruit : gousse linéaire-cylindrique de 8–30(–120) cm de long, rectiligne ou légèrement courbe, pourvue d'un bec court, glabre ou légèrement pubescente, brun pâle à maturité, contenant 8–30 graines. Graines oblongues à presque globuleuses, souvent comprimées latéralement, de 0,5–1 cm de long, noires, brunes, roses ou blanches ; hile oblong,

couvert d'un tissu blanc, à arille noirâtre en bourrelet. Plantule à germination épigée ; cotylédons oblongs ou en faucille, épais ; les deux premières feuilles simples et opposées, les feuilles suivantes alternes, 3-foliolées.

Autres données botaniques Le genre *Vigna*, qui comprend environ 80 espèces, se rencontre partout dans les régions tropicales. Mais les espèces tropicales américaines vont probablement bientôt être classées dans un genre distinct, ce qui réduirait le nombre d'espèces dans ce genre à 50–60.

Vigna unguiculata est extrêmement variable, aussi bien chez les formes sauvages que cultivées. Plusieurs sous-espèces (jusqu'à 10) ont été distinguées, dont la plupart représentent des types sauvages vivaces, mais subsp. *unguiculata* regroupe les types annuels sauvages et les types cultivés.

Au sein de *Vigna unguiculata* cultivé, on admet généralement 5 groupes de cultivars, qui se recoupent et qui peuvent par ailleurs facilement se croiser :

- le Groupe Unguiculata (niébé commun) : types de légume sec et de légume frais, cultivés pour leurs grains secs ou immatures, leurs jeunes gousses ou leurs feuilles ; port prostré à érigé, atteignant 80 cm de haut, floraison tardive, gousses de 10–30 cm de long, pendantes, dures et fermes, non renflées à l'état jeune, contenant de nombreuses graines non espacées ; la plupart des cultivars africains appartiennent à ce groupe.
- le Groupe Sesquipedalis (haricot-kilomètre, synonymes : *Dolichos sesquipedalis* L., *Vigna sesquipedalis* (L.) Fruhw.) : cultivé pour ses jeunes gousses ; plante grimpante, tige atteignant 4 m de long, gousses de 30–120 cm de long, pendantes, renflées à l'état jeune, contenant de nombreuses graines espacées ; important légume en Asie du Sud-Est, mais d'importance secondaire en Afrique tropicale, où seuls des cultivars introduits d'Asie sont cultivés.
- le Groupe Biflora (catjang) : cultivé pour ses grains, ses gousses vertes et tendres et pour le fourrage ; port prostré à érigé, atteignant 80 cm de haut, floraison précoce, gousses de 7,5–12 cm de long, dressées ou ascendantes, dures et fermes, non renflées à l'état jeune, à graines peu nombreuses et non espacées ; important en Inde et en Asie du Sud-Est, et également dans certaines parties d'Afrique (par ex. en Ethiopie).
- le Groupe Melanophthalmus : originaire d'Afrique de l'Ouest ; plante pouvant fleurir précocement à partir des premiers nœuds sous conditions inductives, gousses contenant relativement peu de graines, tégument fin, souvent ridé, partiellement blanc.
- le Groupe Textilis : petit groupe cultivé seulement au Nigeria pour ses fibres extraites des longs pédoncules ; au début du XX[e] siècle, ce groupe était réparti du delta intérieur du fleuve Niger jusqu'au bassin du lac Tchad, mais il disparaît progressivement.

En Afrique, il existe un grand nombre de variétés locales et de cultivars améliorés au sein du Groupe Unguiculata. Les feuilles se ramassent de façon traditionnelle dans les champs de niébé cultivé essentiellement pour les graines sèches, et appartiennent aux dix légumes-feuilles les plus prisés dans nombre de pays africains. En outre, des types spéciaux à port érigé ou à tiges prostrées à longues pousses tendres sont cultivés comme légume-feuilles et parfois aussi pour leurs grains immatures ou leurs jeunes gousses. L'utilisation des types à double fin (graines et feuilles) devient très courante dans certains pays, parce que les feuilles sont le principal légume au début de la saison des pluies.

Différents cultivars de haricot-kilomètre sont proposés par les firmes semencières asiatiques, qui offrent tout un éventail de caractéristiques de la plante.

Croissance et développement La germination du niébé prend 3–5 jours à des températures supérieures à 22°C, la température optimale étant 35°C. Les fleurs s'ouvrent le matin et se referment avant midi, pour tomber le jour-même. Sous des climats secs, le niébé est presque entièrement autogame, mais dans les régions où l'humidité de l'air est élevée, la pollinisation croisée par les insectes peut avoisiner les 40%. Seuls des insectes assez gros sont suffisamment lourds pour ouvrir la carène. La longueur de la période de reproduction est très variable, les cultivars les plus précoces demandant 30 jours depuis le semis jusqu'à la floraison, et moins de 60 jours pour produire des grains mûrs. Lorsque les feuilles sont récoltées pendant la phase de croissance initiale, la sénescence débute à 1,5–2 mois après le semis et la plante meurt au bout de 3–4 mois, en fonction de la santé de la culture et de l'intensité de la récolte. Les cultivars tardifs à croissance indéterminée mettent 90–100 jours pour fleurir et jusqu'à 240 jours pour que les dernières gousses mûrissent. Le niébé forme des nodules fixateurs d'azote avec *Sinorhizobium fredii* et plusieurs espèces de *Bradyrhizobium*.

Ecologie Les types sauvages de *Vigna unguiculata* poussent parmi la végétation de savane, souvent dans des milieux perturbés, ou bien comme adventice, jusqu'à 1500 m d'altitude ; mais on peut en trouver dans les savanes herbeuses soumises à des brûlis réguliers, dans des endroits sablonneux proches des côtes, dans des étendues boisées, des lisières des forêts ou dans les zones marécageuses, parfois jusqu'à 2500 m d'altitude.
Le niébé réussit bien à des températures diurnes de 25–35°C ; les températures nocturnes ne doivent pas être inférieures à 15°C, ce qui en limite la culture aux basses et moyennes altitudes. Au-dessus de 700 m, la croissance est retardée. Le niébé ne tolère pas le gel et des températures supérieures à 35°C provoquent la chute des fleurs et des gousses. Il pousse bien lorsque l'ensoleillement est direct mais il supporte un peu d'ombre. En Afrique subsaharienne, le niébé est généralement planté comme culture pluviale, mais en Asie il dépend parfois de l'eau résiduelle après une culture de riz irrigué. Certains types déterminés à cycle court peuvent se cultiver avec moins de 500 mm de précipitations annuelles ; au cours d'essais menés au Sénégal, 'Ein al Ghazal' a produit 2400 kg/ha de grains avec seulement 452 mm de pluie. Les types à cycle long nécessitent 600–1500 mm. Le haricot-kilomètre tolère les fortes précipitations ; les besoins en eau pour une culture adulte sont de 6–8 mm par jour. On cultive aussi bien pendant la saison sèche avec un arrosage abondant que pendant la saison des pluies, bien que semer pendant la saison des pluies puisse provoquer des dégâts sur les semis en train de lever ou sur les jeunes plantes. La plupart des cultivars de niébé sont des plantes de jours courts à réaction quantitative, mais il existe aussi des types indifférents à la longueur du jour. Le niébé peut se cultiver sur plusieurs types de sols dont le pH est de 5,5–6,5(–7,5), à condition qu'ils soient bien drainés. Il est modérément sensible à la salinité, mais montre une tolérance plus importante aux stades plus avancés de la croissance.

Multiplication et plantation Les producteurs utilisent habituellement leurs propres semences. Le poids de 1000 graines de niébé est de 150–300 g. La densité de semis en culture pure est de 15–30 kg/ha. Un traitement des semences avec un insecticide et un fongicide (par ex. du thirame) avant la plantation est indiqué. En Afrique tropicale, le niébé se cultive surtout en association ou en relais avec d'autres cultures tels que l'igname, le maïs, le manioc, l'arachide, le sorgho ou le mil. Les cultures pures sont rares, sauf dans les régions côtières d'Afrique de l'Est, ainsi qu'en Asie et dans les pays occidentaux. Dans les zones de forêts et de savanes guinéennes de l'Afrique de l'Ouest, le niébé est surtout cultivé en association avec le maïs, le manioc, l'igname ou l'arachide, à une très faible densité (1000–5000 poquets/ha). Dans la partie nord de la savane guinéenne, il est associé à l'arachide ou au sorgho. Les espèces composantes de l'association sont normalement semées en lignes suivant des systèmes réguliers, par ex. association en lignes intercalées ou association sur la ligne à espacements variables, donnant ainsi une grille de lignes d'arachide ou de sorgho croisées par des lignes de niébé tous les 2–3 m. La population de niébé est faible, les plantes individuelles s'étalant sur un rayon de 2–3 m. Au Soudan, le niébé de la savane est cultivé en association avec le mil, le sorgho ou l'arachide, dans des systèmes traditionnels divers et complexes caractérisés par des espacements entre les plantes et des séquences de mise en place des espèces composantes variables. Par exemple, dans certaines zones de l'Etat de Kano au Nigeria (régions de Minjibir et Gezawa), le mil est planté le premier en lignes espacées de 1,5–3 m au début des pluies (mai–juin), avec 1 m de distance sur la ligne, donnant 4000–6000 poquets/ha. Lorsque les pluies sont devenues plus stables à la fin de juin, des cultivars précoces de niébé (type légume sec) sont plantés entre les lignes alternées de mil à un espacement de 1 m. Le niébé tardif (type fourrage) est planté plus tard en mi-juillet, entre les autres lignes de mil. Lorsqu'il est cultivé en culture pure, le niébé est semé à des densités de 22 000 plantes/ha pour les types prostrés jusqu'à 100 000 plantes/ha pour les types érigés. L'espacement recommandé pour le niébé en culture pure au Kenya est de 60 cm entre les lignes et de 20 cm sur la ligne. Au Swaziland, l'espacement est de 50 cm entre les lignes et 15 cm sur la ligne pour les cultivars érigés. Pour les variétés locales, les espacements sont plus grands, en particulier pour les types à double fin. Souvent 2–3 graines sont semées par poquet, et on pratique ensuite un éclaircissement, par ex. au moment d'un désherbage. La profondeur de semis est de 4–5 cm. Le niébé a besoin d'un sol finement ameubli pour permettre une bonne croissance des racines. Généralement, un labour en profondeur suivi d'un hersage donne un ameublissement correct. Dans les systèmes de culture

associée, un labour superficiel suit normalement la récolte à laquelle le niébé est associé.

Les maraîchers péri-urbains utilisent des cultivars spéciaux pour la production de feuilles par cueillettes répétées. Ils sèment les graines à la volée sur des planches surélevées, préparées sur un sol bien fumé, visant une densité élevée d'environ 25 plantes au m².

Les producteurs africains utilisent les graines du haricot-kilomètre provenant de récoltes antérieures, contrairement à ceux d'Asie du Sud-Est, qui sont nombreux à se procurer des semences saines issues de cultivars améliorés. Le poids de 1000 graines de haricot-kilomètre, 100–150 g, est plus faible que celui du niébé. Les graines se sèment en poquets de 2–4 graines. La culture se pratique d'ordinaire sur des planches surélevées pour permettre un bon drainage et une facilité d'arrosage de surface, de tuteurage et de récolte. Le buttage des jeunes plantes protège leur système racinaire superficiel tout en soutenant les plantes. Certains agriculteurs procèdent au paillage avec de la paille de riz, mais c'est une pratique peu répandue.

Gestion Le niébé tire de l'air une quantité considérable de ses besoins en azote, et il peut en laisser 75–150 kg/ha dans le sol, qui profiteront à la culture suivante. Dans les lieux où le niébé n'avait pas été cultivé depuis un certain temps, une inoculation avec des bactéries fixatrices d'azote s'est avérée bénéfique. Le niébé a besoin de phosphore pour la nodulation et la croissance des racines. Dans les sols qui en sont dépourvus, on peut incorporer 25 kg/ha de P pour aider la croissance de la plante. Sur les sols qui manquent de potassium, 25 kg/ha de K sont indiqués. Il faut empêcher les mauvaises herbes d'envahir le niébé pendant les stades précoces de croissance. Deux ou trois sarclages pendant les 6 premières semaines après le semis sont recommandés ; une fois établi, le niébé l'emporte sur les mauvaises herbes. Le désherbage est généralement effectué par binage superficiel.

Le niébé-légume et le haricot-kilomètre absorbent fortement les minéraux. Sur les sols à fertilité moyenne, il est recommandé d'utiliser 5–10 t/ha de fumier de ferme au cours de la préparation du sol, ainsi que 20 kg/ha de N, 25 kg/ha de K et 40 kg/ha de P. Trois semaines après la levée, on apporte une fumure de surface de 50 kg/ha d'urée. Pour le haricot-kilomètre, on fiche des rames de 2–2,5 m de long en terre aux bords des planches avant le semis ou dans les deux premières semaines après la levée, avant que la plante n'ait atteint 30 cm de haut. Une méthode de tuteurage peu onéreuse consiste à semer le haricot-kilomètre en relais auprès des tiges de maïs avant ou juste après la récolte des épis.

Maladies et ravageurs Le niébé est sensible à tout un éventail de maladies et de ravageurs. Le haricot-kilomètre souffre des mêmes maladies et ravageurs que le niébé, mais en conditions humides il semble moins sensible. Les maladies fongiques sont plus gênantes pendant la saison des pluies, tandis que les insectes et les acariens, ainsi que les maladies virales, provoquent plus de dégâts pendant la saison sèche.

Les principales maladies fongiques sont l'anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*), l'ascochytose (*Phoma exigua*), les taches brunes (*Colletotrichum truncatum*), le charbon foliaire (*Protomycopsis phaseoli*), les taches foliaires (*Cercospora canescens*, *Septoria vignae*, *Mycosphaerella cruenta*, synonyme : *Pseudocercospora cruenta*), la rouille brune (*Uromyces appendiculatus*), la gale (*Elsinoë phaseoli*), l'oïdium (*Erysiphe polygoni*), la pourriture du collet (*Pythium aphanidermatum*), le chancre de la tige (*Macrophomina phaseolina*) et le rhizoctone (*Thanatephorus cucumeris*, synonyme : *Rhizoctonia solani*). Pour la lutte intégrée contre les maladies, il est nécessaire de recourir à la rotation ainsi qu'à des produits chimiques et à des cultivars résistants. Parmi les maladies bactériennes, il faut citer le chancre bactérien (*Xanthomonas campestris* pv. *vignicola*), présente à l'échelle mondiale, et des pustules bactériennes (*Xanthomonas axonopodis* pv. *glycines*, synonyme : *Xanthomonas campestris* pv. *vignaeunguiculatae*), signalées au Nigeria. Ces bactéries sont transmises par les semences, mais une propagation secondaire intervient par les bourrasques de pluie. Les mesures de lutte comprennent le recours aux graines exemptes d'agents pathogènes, leur traitement avec un mélange d'antibiotiques et de fongicides, par ex. streptocycline plus captane, ainsi qu'une stricte rotation culturale. Des gènes de résistance sont disponibles pour le chancre bactérien et les pustules bactériennes.

De nombreux virus s'attaquent à *Vigna unguiculata*. Certains ont une importance économique, par ex. le virus de la mosaïque du niébé transmis par pucerons (CABMV), le virus de la marbrure du niébé (CPMoV), le virus de la mosaïque jaune du niébé (CYMV), le virus de la mosaïque du haricot à l'œil noir ou virus de la mosaïque commune du haricot (BCMV), le

virus de la mosaïque du concombre (CMV-CS) et le virus de la mosaïque dorée du niébé (CPGMV). Certains de ces virus sont transmis par la semence, tandis que des pucerons, des aleurodes et des coléoptères opèrent quant à eux la transmission au champ. Les mesures de lutte comprennent le recours à des semences saines issues de cultivars résistants lorsqu'ils sont disponibles, ainsi qu'un désherbage visant à éliminer les autres plantes-hôtes. Sur les sols pauvres sablonneux, le niébé est attaqué par les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp.). Il est également une plante-hôte pour des nématodes réniformes (*Rotylenchus* spp.), des nématodes des lésions de racines (*Pratylenchus* spp.) et des nématodes à stylet (*Hoplolaimus* spp.). La rotation des cultures et des cultivars résistants sont utilisés pour lutter contre les nématodes.

Les insectes ravageurs constituent également un facteur important limitant la production du niébé, et ils peuvent causer la perte totale de la récolte en graines. En Afrique tropicale, de gros dégâts sont provoqués par les pucerons du niébé (*Aphis craccivora*), les thrips des fleurs (*Megalurothrips sjostedti*), les foreurs de gousses (*Maruca vitrata*, *Etiella zinckenella*), les punaises des gousses et des graines (par ex. *Clavigralla tomentosicollis*, synonyme : *Acanthomia tomentosicollis*). Les punaises grises (*Lygus hesperus*), les charançons du haricot (*Chalcodermus aeneus*) et les cicadelles vertes (*Empoasca* spp.) ont moins d'importance. Le haricot-kilomètre attire particulièrement les pucerons (*Myzus persicae*, *Aphis gossypii*), la punaise verte (*Nezara viridula*) et les acariens rouges (*Tetranychus* spp.) ; les vers gris (*Agrotis ipsilon*) font souvent des ravages juste après la levée. La mouche du haricot (*Ophiomyia phaseoli*) est un ravageur commun ; ses larves creusent des galeries dans les feuilles et les tiges, et les jeunes plantes les plus touchées meurent tandis que les plantes plus âgées souffrent de problèmes de croissance et d'une importante diminution de rendement. L'incidence de la verse est généralement élevée dans les champs infestés ; les cultivars tolérants peuvent former des racines aériennes au-dessus de la partie affectée. Un autre ravageur commun est la mouche des gousses du haricot (*Melanagromyza sojae*), dont les larves endommagent les pétioles et les jeunes gousses. La lutte contre les insectes ravageurs se fait en protégeant les graines lors du semis au moyen d'un insecticide systémique (comme le carbofuran), ou en pulvérisant celui-ci sur les plantes en train de lever. Les débris végétaux et les plantes touchées doivent être brûlés. Les grains de niébé sont extrêmement vulnérables aux ravageurs des greniers, la bruche cosmopolite du niébé (*Callosobruchus maculatus*) étant le plus important. Les mesures prises pour réduire les dégâts sont l'emploi d'une huile végétale inoffensive, l'huile de nim (*Azadirachta indica* A.Juss.), ou de cendres de bois, la torréfaction et la mise des grains sous vide en sacs plastiques, ou leur stockage sous forme de gousses entières.

Le recours à des produits chimiques, à des cultivars résistants, à la lutte biologique et à une bonne conduite de la culture, comme l'association à d'autres plantes et le désherbage, sont nécessaires en lutte intégrée. La lutte chimique contre les insectes se pratique couramment chez le haricot-kilomètre, mais pas sur le niébé. En raison des risques qu'ils comportent tant pour l'agriculteur que pour le consommateur (surtout lorsqu'on récolte les feuilles), ces traitements doivent être réduits au strict minimum.

Deux adventices parasites représentent un problème grave : *Alectra vogelii* Benth., répandue dans les zones de savane méridionales en Afrique occidentale, orientale et australe, et *Striga gesnerioides* (Willd.) Vatke, répandue dans les zones de savane d'Afrique occidentale et centrale. La rotation culturale, le travail du sol en profondeur, la culture associée, un semis précoce et le recours à des cultivars résistants diminuent l'infestation par ces adventices parasites.

Récolte Les feuilles de niébé se ramassent dès l'âge de 4 semaines après la levée jusqu'au début de la floraison. Lorsqu'il s'agit d'une culture porte-graines, les agriculteurs récoltent souvent 10–20% des feuilles avant le démarrage de la floraison, sans que cela affecte le rendement en graines. Une cueillette de feuilles plus intense réduit la floraison, la fructification et le rendement en graines. Les producteurs spécialisés dans la production de feuilles coupent les plantes à 10 cm au-dessus du sol pour obtenir régulièrement de nouvelles pousses. Les gousses vertes se récoltent lorsque les grains sont encore immatures, 12–15 jours après la floraison. La récolte des grains secs s'effectue lorsque deux tiers au moins des gousses sont sèches et jaunies. Chez les types indéterminés, la récolte est compliquée par une maturation prolongée et inégale ; pour certaines variétés locales, 5–7 passages sont nécessaires pour la récolte. Les graines mûres sont

généralement récoltées à la main. Parfois les plantes sont arrachées lorsque la plupart des gousses sont mûres. Dans les sytèmes d'association traditionnels complexes de l'Etat de Kano (Nigeria), les cultivars précoces de niébé et de sorgho sont récoltés fin août ou début septembre. Les cultivars tardifs de niébé et de sorgho sont récoltés au début de la saison sèche, entre octobre et novembre, lorsque les feuilles commencent à se flétrir. Les types fourragers sont arrachés ou coupés au ras du sol et enroulés en bottes avec les feuilles intactes. Ces bottes sont alors conservés sur les toits ou des fourches d'arbres pour sécher, et sont utilisées ou vendues en pleine saison sèche.
La première récolte de gousses de haricot-kilomètre au stade souhaité a lieu 6–7 semaines après le semis, en fonction du cultivar et de la demande. On ramasse d'ordinaire les gousses lorsqu'on commence tout juste à deviner la forme des grains. La cueillette doit se faire avec le plus grand soin, car les gousses qu'on oublie jusqu'à la récolte suivante durcissent et se décolorent, et leurs graines gonflent et peuvent épuiser la plante. Les récoltes se succèdent sur 4–8 semaines au moins une fois par semaine (deux fois par semaine pour un calibrage plus précis).

Rendements Les agriculteurs peuvent récolter jusqu'à 400 kg/ha de feuilles de niébé en un nombre réduit de passages sans diminution notable des rendements en grains. Au Nigeria, certains cultivars grimpants ont permis de produire 9–17 t/ha de gousses fraîches, les cultivars décombants en produisant quant à eux 6–15 t/ha. La moyenne du rendement en grains secs des mêmes cultivars était de 1,4–1,7 t/ha. La moyenne mondiale des rendements en grains secs de niébé est faible, 240 kg/ha, et pour le fourrage elle est de 500 kg/ha (tiges feuillées séchées à l'air). Le rendement moyen en graines sèches de niébé dans l'agriculture de subsistance en Afrique tropicale est de 100–500 kg/ha. Le rendement moyen est de 120 kg/ha au Niger, 400 kg/ha au Nigeria, et 900 kg/ha aux Etats-Unis. Outre les effets des maladies et ravageurs, la faiblesse des rendements s'explique en partie par le fait que le niébé est surtout cultivé à faible densité, intercalé avec des céréales plus hautes qui lui font de l'ombre. De plus, le niébé est souvent planté tard dans la saison des pluies, ce qui diminue la durée de la culture du fait de sa sensibilité à la photopériode. Un potentiel de rendement de 3 t/ha de graines et 4 t/ha de foin peut être atteint en culture pure et avec une bonne conduite. Aux Etats-Unis, les rendements en graines atteignent 7 t/ha.
Pour le haricot-kilomètre, un rendement total de 15 t/ha sur une période de récolte d'au moins un mois est considéré satisfaisant, mais on a signalé des rendements s'élevant à 30 t/ha.

Traitement après récolte Les feuilles récoltées ne se gardent pas longtemps et doivent être vendues dans les 2 jours. Les pousses se conservent plus longtemps si on les met dans une cuvette remplie d'eau. Les feuilles de niébé sont souvent séchées au soleil pour les conserver, soit une fois ébouillantées et compactées en boulettes noires, ou bien directement, entières ou en fragments, ou encore sous forme de poudre. Les gousses vertes de haricot-kilomètre sont liées en bottes de 20–40, emballées dans des paniers ou des cagettes pour être acheminées au marché. Le haricot-kilomètre est moins sensible à la perte de poids par transpiration et aux avaries au cours du transport que la plupart des autres légumes. Conservées au froid (8°C), les gousses se gardent 4 semaines. Les grains frais immatures de niébé ont une durée de conservation limitée à température ambiante, mais à 8°C ils gardent leur fraîcheur pendant 8 jours. En Europe, aux Etats-Unis et au Japon, les gousses immatures tendres sont parfois congelées ou appertisées. En tant que légume sec, les grains écossés doivent être séchés complètement jusqu'à un taux d'humidité de 14% au plus pour assurer une conservation correcte.

Ressources génétiques L'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) d'Ibadan (Nigeria) détient une collection de plus de 15 000 entrées de niébé cultivé et de 1000 entrées de *Vigna* sauvages apparentés ; de son côté, l'université de Californie à Riverside (Etats-Unis) en détient 5000. L'IITA a caractérisé 8500 entrées pour la résistance aux foreurs des gousses *Maruca* et aux punaises suceuses, et 4000 pour la résistance aux thrips des fleurs, aux bruches et aux virus. Le niveau de résistance aux insectes ravageurs est élevé chez l'espèce sauvage *Vigna vexillata* (L.) A.Rich., en particulier vis-à-vis des punaises et des foreurs *Maruca*. De nombreuses entrées de *Vigna* sauvages ont un niveau élevé de résistance aux charançons des greniers.
De petites collections de haricot-kilomètre sont présentes au Centre de recherche et de développement sur les légumes en Asie (AVRDC), de Shanhua (Taïwan) et à l'Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS) de Pékin (Chine)

ainsi que dans des instituts nationaux d'Asie. Il n'existe que de toutes petites collections de catjang. En Asie, les variétés locales des types potager et légume sec de *Vigna unguiculata* risquent de disparaître, étant donné que l'on cultive partout des cultivars améliorés. C'est un processus qui a aussi commencé en Afrique.

Sélection L'amélioration de *Vigna unguiculata* a fait l'objet de nombreux travaux, la plupart concernant des cultivars spécialisés pour le grain sec, et en Asie du Sud-Est pour le haricot-kilomètre. Aux Etats-Unis, des cultivars spéciaux de niébé destinés à la récolte des gousses et des jeunes grains ont été mis au point. Les critères de sélection du niébé portent sur sa résistance (aux insectes ravageurs, aux maladies, aux nématodes, aux mauvaises herbes parasites, à la sécheresse), le type de plante et de graine, les rendements et les systèmes de culture. L'IITA, qui conduit un vaste programme d'amélioration génétique, distribue des ressources génétiques, du matériel de sélection et des cultivars. En collaboration avec l'Institut international de recherche sur le bétail (ILRI), l'IITA a débuté un programme de sélection visant à créer des cultivars améliorés de niébé donnant à la fois des graines pour la consommation humaine et du fourrage pour le bétail en saison sèche. Des cultivars améliorés ont aussi été mis au point pour la culture associée. Dans de nombreux pays, des programmes nationaux ont mis sur le marché des cultivars de niébé améliorés possédant des résistances au chancre bactérien, au virus de la mosaïque du niébé transmis par pucerons, aux pucerons eux-mêmes, aux charançons du haricot, aux nématodes à galles, à la bruche du niébé et aux mauvaises herbes parasites. De nouveaux cultivars à cycle court destinés aux conditions sèches et humides ont été mis au point, comme 'Ein al Ghazal' et 'Mouride'. Les cultivars améliorés sont souvent des types déterminés de petite taille, érigés, sélectionnés pour une production optimale de grains secs et donc moins adaptés à la cueillette traditionnelle de feuilles. Des espèces sauvages africaines de *Vigna* ont été croisées avec succès avec *Vigna unguiculata*.

Les travaux d'amélioration génétique sur les types potagers africains sont rares. Au Kenya, Simlaw Seeds a commercialisé 'Kenduke-1', un type semi-rampant sélectionné pour ses grandes feuilles, sa belle couleur verte et son bon goût, et qui peut se récolter pendant une longue période. Au Sénégal, un type à feuilles, 'Fuuta', a été sélectionné, dont la période végétative atteint les 50 jours. Le Crop Breeding Institute de Harare (Zimbabwe) a sélectionné des cultivars à double fin avec un rendement élevé tant en feuilles qu'en graines ; le cultivar zimbabwéen 'Chigwa' est particulièrement adapté à une utilisation comme légume-feuilles en raison de sa floraison tardive. 'Melakh' est aussi un cultivar à double fin, sélectionné au Sénégal pour la production de graines fraîches et sèches.

La mise au point de cultivars améliorés de haricot-kilomètre par rétrocroisements et sélection généalogique a été réalisée en Asie du Sud-Est. Le rendement est fortement lié au nombre de gousses par plante et à leur longueur. Une résistance aux mouches du haricot serait bienvenue, mais elle semble difficile à atteindre. La East-West Seed Company en Thaïlande a sélectionné des cultivars adaptés à tout un ensemble de conditions culturales, par ex. 'Aba', à cycle court (première récolte 45 jours après le semis), de rendement élevé, à gousses vert grisâtre de 60–70 cm de long, et d'excellente qualité marchande.

Des cartes de liaison génétique ont été établies pour le niébé à l'aide de RAPD, AFLP et RFLP ; les cartes de liaison ont été utilisées pour localiser des gènes associés à la résistance à *Striga gesnerioides*, à plusieurs virus et aux nématodes à galles, ainsi que pour localiser des locus de caractères quantitatifs (QTL) comme la durée jusqu'à la floraison, la durée jusqu'à la maturité, la longueur des gousses, le poids des gousses et des graines, et la résistance aux pucerons. L'organogenèse directe du niébé a été réalisée en utilisant les tissus de l'hypocotyle, de l'épicotyle ou des cotylédons. La régénération de niébé par embryogenèse somatique a été essayée, mais le cal a échoué à donner des plantes à une fréquence acceptable. La transformation génétique a été proposée, par ex. pour obtenir une résistance aux ravageurs par l'incorporation de gènes Bt (*Bacillus thuringiensis*) et de gènes inhibiteurs d'α-amylase, mais on ne dispose pas encore d'un système fiable pour une transformation génétique stable du niébé.

Perspectives Le niébé est une source peu coûteuse de protéines végétales, surtout en Afrique de l'Ouest. Il joue un rôle important dans les systèmes de cultures associées et est un élément essentiel des systèmes intégrés de polyculture-élevage en Afrique de l'Ouest. Les maladies et ravageurs constituent les principales contraintes de la production de niébé. La sélection pour la résistance pourrait s'avérer

cruciale pour venir à bout de ces contraintes, avec un rôle croissant pour les outils de la biotechnologie. L'amélioration dépendra aussi à l'avenir de la collecte des variétés locales et des espèces apparentées sauvages, et de leur utilisation dans les programmes de sélection.
Les perspectives pour le niébé potager sont excellentes en Afrique. Hormis les cultivars traditionnels de niébé à double fin (légume sec et légume-feuilles), il existe un besoin en types potagers spéciaux. Comme légume-feuilles : des plantes naines à port érigé ou prostré, à longue période végétative, à pousses et feuilles tendres. Pour les grains immatures : des plantes naines à port érigé ou prostré, à croissance déterminée. Pour les gousses fraîches : des gousses d'environ 15 cm de long (en remplacement du haricot vert dans les basses terres chaudes).
Comme légume-fruit, il semble logique de remplacer le niébé par le haricot-kilomètre, en raison de sa qualité et de son rendement supérieurs. On devrait évaluer l'adaptation des cultivars asiatiques aux conditions de l'Afrique tropicale, car si on l'associe à un développement du marché, le haricot-kilomètre peut parfaitement contribuer à élargir la gamme des légumes disponibles.

Références principales Ehlers, 1997; Grubben, 1993; Hall & Coyne (Editors), 2003; Langyintuo et al., 2003; Ng & Singh, 1997; Pandey & Westphal, 1989; Pasquet & Baudoin, 1997; Singh & Rachie (Editors), 1985; Singh et al. (Editors), 1997a; Vanderborght & Baudoin, 2001.

Autres références Allen et al., 1998; Bhat, Etejere & Oladipo, 1990; Burkill, 1995; de Vries & Toenniessen, 2001; Ezedinma, 1973; Hall et al., 2003; Kahn, 1993; Madamba, 1997; Madamba, 2001; Magkoko, 2001; Messiaen, 1989; Ouédraogo et al., 2002; Pasquet, 1998; Popelka, Terryn & Higgins, 2004; Schippers, 2000; Singh et al., 2003; Ubi, Mignouna & Thottapilly, 2000; Uguru, 1996; Uguru, 1998; USDA, 2004.

Sources de l'illustration Pandey & Westphal, 1989.

Auteurs R. Madamba, G.J.H. Grubben, I.K. Asante & R. Akromah

ZEA MAYS L.

Protologue Sp. pl. 2: 971 (1753).
Famille Poaceae (Gramineae)
Nombre de chromosomes $2n = 20$
Noms vernaculaires Maïs (Fr). Maize, corn, Indian corn (En). Milho (Po). Mhindi, muhindi (Sw).

Origine et répartition géographique Le maïs a été domestiqué dans le sud du Mexique vers 4000 avant J.-C. Les premières civilisations des Amériques dépendaient de sa culture. A l'arrivée des Européens dans les Amériques, le maïs s'était diffusé depuis le Chili jusqu'au Canada. La première attestation du maïs en Afrique de l'Ouest remonte à 1498, six années après la découverte des Antilles par Christophe Colomb. Les Portugais ont rapporté à São Tomé des types à grain farineux d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud, et ils se sont diffusés de São Tomé vers la côte de l'Afrique de l'Ouest. Vers le milieu du XVIe siècle, ce sont des types caraïbes de maïs corné que des marchands portugais et arabes ont introduit en Afrique de l'Est, d'où ils se sont diffusés vers l'Afrique australe. Enfin, à travers les routes commerciales transsahariens, les Arabes ont introduit en Afrique subsaharienne les types cornés qui avaient été apportés dans le nord de l'Afrique. Ce sont toujours les types cornés qui prédominent dans les parties nord de l'Afrique de l'Ouest, les types farineux se trouvant surtout dans les régions sud, avec toutefois quelques exceptions à la règle. Le maïs est devenu un aliment de base en Afrique orientale et australe dans les années 1930.
La répartition du maïs est extrêmement étendue. Sa culture s'étend de la latitude 58°N au



Zea mays – planté

Canada et en Russie, couvre toutes les régions tropicales, et descend jusqu'à la latitude 42°S en Nouvelle-Zélande et en Amérique du Sud : et il pousse aussi bien dans les régions situées en dessous du niveau de la mer de la plaine Caspienne que dans les régions de Bolivie et du Pérou où l'altitude atteint 3800 m. Il est produit dans tous les pays d'Afrique, depuis la côte jusque dans les régions semi-arides d'Afrique de l'Ouest en passant par les zones de savane, et du niveau de la mer aux régions de moyenne et haute montagne d'Afrique centrale et d'Afrique de l'Est.

Usages Le grain de maïs est destiné essentiellement à trois usages : l'alimentation humaine, les aliments du bétail et des volailles, et comme matière première pour de nombreuses applications industrielles. Mais en Afrique tropicale, la quasi totalité du maïs est réservée au premier de ces usages. On le prépare et on le consomme de nombreuses façons. Il peut se manger frais directement sur l'épi et simplement grillé, mais le grain est généralement broyé en farine que l'on cuit à l'eau pour donner des bouillies, ou que l'on fait fermenter pour obtenir de la bière. En Afrique tropicale, on consomme surtout le maïs sous forme de bouillie épaisse (l' "ugali" en Afrique de l'Est, le "sadza" au Zimbabwe). Il est fréquemment consommé avec des légumes cuits et de la viande lorsqu'il y en a. On en consomme aussi couramment une bouillie claire (l' "uji" en Afrique de l'Est, l' "ogi" au Nigeria, le "koko" au Ghana), surtout comme aliment de sevrage. En Ethiopie, la bière locale ("tella") et une eau de vie ("arakie") sont fabriquées avec du grain malté. Le maïs éclaté (pop-corn) est un amuse-gueule apprécié.
Les principaux produits industriels que l'on obtient à partir du maïs sont des aliments pour le petit déjeuner comme les pétales de maïs ("cornflakes"), ainsi que de l'amidon, du sucre et de l'huile. Le plus important est l'amidon, qui est destiné à la consommation humaine ou sert à faire des sirops et de l'alcool ; mais il s'emploie aussi entre autres en blanchisserie, et c'est un matériau de base pour de nombreux produits chimiques. La plupart des produits industriels s'obtiennent d'ordinaire par la mouture humide : le grain est tout d'abord mis à macérer dans l'eau, puis le germe et le son sont séparés de l'albumen. La mouture sèche produit du gruau constitué d'albumen grossièrement moulu, duquel on a retiré la plus grande partie du son et du germe. Les divers produits sont ensuite obtenus par des procédés physiques ou chimiques, et les sucres de maïs par ex. représentent maintenant la moitié des sucres utilisés en alimentation humaine. Le germe donne une huile qui peut être raffinée pour la consommation humaine et qui est très utilisée comme huile de cuisson et d'assaisonnement et dans la production de margarines. Elle occupe le deuxième rang des huiles végétales les plus consommées aux Etats-Unis, et on la transforme aussi en savon ou en glycérine. Les résidus de la production d'amidon et d'huile, ainsi que le son, s'emploient en alimentation animale (gluten de maïs fin ("corn gluten meal") et gros ("corn gluten feed")).
On consomme les épis immatures comme légume, cuit à l'eau ou grillé. Les très jeunes inflorescences femelles (mini-maïs) sont un légume fantaisie dans les pays occidentaux et en Asie. Les plantes de maïs mûres servent à l'alimentation animale. Le maïs-ensilage est l'une des cultures dominantes des pays occidentaux industrialisés, où des cultivars et des technologies de production spéciaux ont été élaborés. Les tiges de maïs servent de combustible, de fourrage, de matériau de toiture et de compost ; on fait du papier avec la fibre des tiges et avec les spathes qui entourent l'épi. Ces spathes servent souvent à envelopper des aliments, et on peut aussi en faire des étoffes ou des nattes, ou les utiliser pour rembourrer les matelas. La cendre de tiges brûlées remplace parfois le sel. On taille des fourreaux de pipes dans la rafle. En Afrique australe, la rafle réduite en cendres est un ingrédient d'un produit à priser.
Le maïs a toutes sortes d'usages en médecine traditionnelle africaine. Les troubles uro-génitaux se traitent avec des remèdes provenant de toutes les parties de la plante, notamment une décoction de styles, qui sert aussi à soigner la jaunisse. Les feuilles macérées se prennent en décoction pour soigner la fièvre. Un charbon de bois obtenu avec les chaumes entre dans la composition de remèdes servant à traiter la blennorragie ; une infusion de rafle brûlée s'emploie pour laver les blessures.

Production et commerce international D'après les statistiques de la FAO, la production mondiale moyenne de maïs-grain en 1999–2003 atteignait les 611 millions de t/an sur 139 millions d'ha. Les principaux pays producteurs sont les Etats-Unis (243 millions de t/an en 1999–2003, sur 28 millions d'ha), la Chine (117 millions de t/an sur 24 millions d'ha), le Brésil (38 millions de t/an sur 12 millions d'ha), le Mexique (19 millions de t/an sur 7 millions

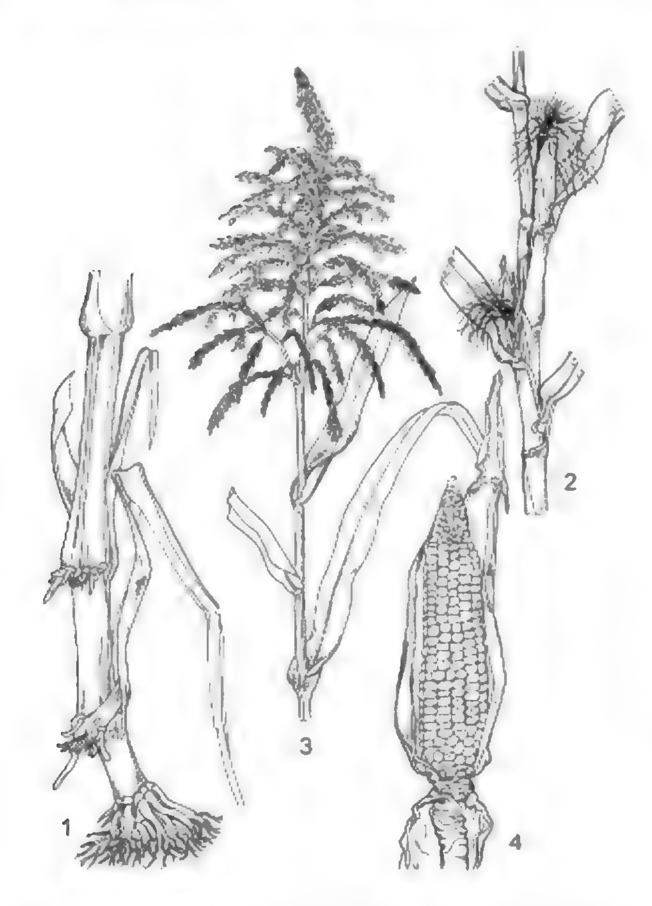
d'ha), la France (15 millions de t/an sur 2 millions d'ha), l'Argentine (15 millions de t/an sur 3 millions d'ha) et l'Inde (12 millions de t/an sur 7 millions d'ha). La production d'Afrique du Sud s'est élevée à 9,4 millions de t/an sur 3,6 millions d'ha. Celle d'Afrique tropicale pour la même période se chiffrait à 26,6 millions de t/an sur 21,2 millions d'ha. Pour l'Afrique tropicale, les principaux pays producteurs sont le Nigeria (4,7 millions de t/an sur 4,2 millions d'ha), l'Ethiopie (2,9 millions de t/an sur 1,6 million d'ha), la Tanzanie (2,6 millions de t/an sur 1,6 million d'ha), le Kenya (2,5 millions de t/an sur 1,6 million d'ha) et le Malawi (2,0 millions de t/an sur 1,5 million d'ha). Entre les périodes de 1961–1965 et de 1999–2003, la production annuelle de maïs en Afrique tropicale est passée de 9,1 à 26,6 millions de t/an, et la superficie récoltée de 10,2 à 21,2 millions d'ha.

La moyenne des exportations mondiales de maïs se montait à 80,1 millions de t/an en 1998–2002, les principaux exportateurs étant les Etats-Unis (47,5 millions de t/an), l'Argentine (10,3 millions de t/an), la France (7,9 millions de t/an) et la Chine (7,4 millions de t/an). Le maïs exporté par l'Afrique tropicale ne représentait que 307 000 t/an, les principaux exportateurs étant le Zimbabwe (143 000 t/an), la Tanzanie (42 000 t/an) et l'Ouganda (25 000 t/an). Les principaux importateurs étaient le Japon (16,3 millions de t/an) et la Corée du Sud (8,3 millions de t/an). Les importations de maïs en Afrique tropicale étaient de 1,8 million de t/an.

Propriétés La composition de grains mûrs de maïs blanc, par 100 g de partie comestible, est : eau 10,4 g, énergie 1527 kJ (365 kcal), protéines 9,4 g, lipides 4,7 g, glucides 74,3 g, fibres alimentaires 7,3 g, Ca 7 mg, Mg 127 mg, P 210 mg, Fe 2,7 mg, Zn 2,2 mg, thiamine 0,39 mg, riboflavine 0,20 mg, niacine 3,6 mg, vitamine B_6 0,62 mg, folates 19 µg et acide ascorbique 0 mg. La composition en acides aminés essentiels, par 100 g de partie comestible, est : tryptophane 67 mg, lysine 265 mg, méthionine 197 mg, phénylalanine 463 mg, thréonine 354 mg, valine 477 mg, leucine 1155 mg et isoleucine 337 mg. Les principaux acides gras, par 100 g de partie comestible, sont : acide linoléique 2097 mg, acide oléique 1247 mg et acide palmitique 569 mg (USDA, 2004). Le maïs présente une carence en tryptophane et en lysine, mais des cultivars plus riches en acides aminés de ce type ont été obtenus au moyen du gène récessif Opaque-2 avec des modificateurs. Ces cultivars sont désignés comme maïs à haute qualité protéique (QPM). En général, 100 kg de maïs entier à 16% d'humidité produisent environ 64 kg d'amidon et 3 kg d'huile. L'albumen, qui représente 80% du poids du grain, est pauvre en phosphore et en calcium et contient la quasi totalité de l'amidon et deux tiers des protéines. Plus de 80% des lipides et la plus grande partie des minéraux se trouvent dans l'embryon, ou germe, qui constitue environ 12% du grain. Normalement, l'amidon de l'albumen est constitué de près de 75% d'amylopectine et de 25% d'amylose, mais le maïs cireux (ou "waxy") ne contient que de l'amylopectine. Le jaune et le blanc sont les couleurs du grain les plus courantes. Le maïs jaune prédomine aux Etats-Unis, en Chine et au Brésil, tandis que le maïs blanc l'emporte en Afrique tropicale, en Amérique centrale et dans le nord de l'Amérique du Sud. Le maïs blanc a un grain plus dur et donne des produits plus sucrés et plus savoureux ; on le réserve surtout à l'alimentation humaine, tandis que le maïs jaune est cultivé principalement pour l'alimentation animale. Le maïs jaune contient de la cryptoxanthine, une provitamine A. La plupart des vitamines se trouvent dans les couches externes de l'albumen et dans la couche d'aleurone. Le maïs présente une carence en gluten, ce qui le rend impropre à la fabrication de pain levé ; mais il est toléré par les personnes atteintes de la maladie cœliaque. L'huile de maïs est réputée excellente pour la consommation humaine, en raison de son goût, de sa couleur et de sa stabilité, ainsi que de la présence d'acide linoléique et de vitamine E.

Le maïs-grain en Afrique tropicale contient souvent des mycotoxines telles que des aflatoxines et des fumosinines, qui sont nuisibles pour les humains comme pour le bétail. Les aflatoxines sont produites par *Aspergillus* spp., en particulier *Aspergillus flavus* ; ce sont des cancérigènes puissants, qui affectent surtout le foie, et qui ont des propriétés immunosuppressives. Les fumosinines sont produites par *Fusarium* spp., en particulier *Fusarium verticillioides* ; elles sont responsables de diverses maladies animales. Il est possible que les fumosinines entraînent des risques pour la santé humaine, mais il n'en existe à ce jour aucune preuve tangible, quoique des études de corrélation aient suggéré un lien entre la consommation de maïs contenant des fumosinines et une fréquence élevée de cancers de l'œsophage chez l'homme.

Description Graminée annuelle robuste at-



Zea mays – 1, partie basale de la plante ; 2, partie centrale de la plante avec inflorescences femelles ; 3, partie apicale de la plante avec inflorescence mâle ; 4, infrutescence.
Source: PROSEA

teignant 4(–6) m de haut ; système racinaire constitué de racines adventives qui se développent à partir des nœuds inférieurs de la tige à proximité de la surface du sol, et se limitent généralement aux premiers 75 cm du sol, mais dont certaines racines pénètrent parfois jusqu'à plus de 2 m de profondeur ; tige (chaume) généralement unique et simple, compacte. Feuilles alternes, simples ; gaine se chevauchant, munie d'auricules à l'extrémité ; ligule d'environ 5 mm de long, incolore ; limbe linéaire-lancéolé, de 30–150 cm × 5–15 cm, acuminé, bords lisses, nervure médiane prononcée. Inflorescences mâles et femelles séparées sur la même plante ; inflorescence mâle : panicule terminale atteignant 40 cm de long, à rameaux latéraux pourvus d'épillets de 8–13 mm de long, disposés en paires, l'un sessile et l'autre courtement pédicellé, chacun des épillets avec 2 glumes et 2 fleurs dont chacune comporte une lemme ovale, une mince paléole, 2 lodicules charnues et 3 étamines ; inflorescence femelle : épi modifié, généralement 1–3 par plante, situé à l'aisselle des feuilles et disposé à mi-hauteur de la tige, se composant d'un axe épais et spongieux (la "rafle") garni d'épillets sessiles disposés en paires sur 8–20 rangs longitudinaux et enfermé par 8–13 feuilles modifiées (spathes), épillet à 2 glumes et 2 fleurs, fleur inférieure stérile, constituée uniquement d'une lemme et d'une paléole courtes, fleur supérieure munie d'une lemme et d'une paléole courtes et larges, d'un ovaire supère unique surmonté d'un style et d'un stigmate longs et filiformes ("soie") atteignant 45 cm de long et dépassant de l'extrémité de l'inflorescence, l'ensemble étant réceptif sur presque toute sa longueur. Fruit : caryopse (grain), habituellement obovale et en forme de coin, de couleur variée, allant du blanc au presque noir, en passant par le jaune, le rouge et le violet ; grains réunis en nombre allant jusqu'à 1000 sur une infrutescence (l'épi), celle-ci étant enfermée dans des feuilles modifiées de 45 cm × 8 cm.

Autres données botaniques Le genre *Zea* comprend 5 espèces, dont l'espèce cultivée *Zea mays* et 4 parents sauvages, tous originaires d'Amérique tropicale et appelés téosintes.

Zea mays est une espèce hétérogène dont les cultivars peuvent se répartir selon 8 types (ou groupes de cultivars) en fonction de la structure et de la morphologie du grain :

– le maïs denté : les bords du grain ont un albumen corné, mais l'intérieur a un amidon blanc et tendre qui s'étend jusqu'à l'apex et se rétracte au séchage pour produire la dépression caractéristique qui évoque une dent ; les grains en forme de coin sont habituellement jaunes ou blancs ; c'est le principal maïs des Etats-Unis et du nord du Mexique ;
– le maïs corné ("flint") : le grain, de diverses couleurs, est surtout constitué d'un albumen dur et d'un peu d'amidon tendre au centre, il a un apex arrondi, il est généralement plus petit que le grain de maïs denté, il mûrit plus tôt, il est plus dur, et lorsqu'il est sec il résiste mieux aux attaques d'insectes ; ce type est surtout cultivé en Europe, en Asie, en Amérique centrale et en Amérique du Sud et dans certaines régions d'Afrique tropicale ;
– le maïs corné-denté ("flint-dent") : ce groupe résulte de l'hybridation entre maïs corné et maïs denté, et a des caractéristiques intermédiaires ; il est d'abord apparu aux Etats-Unis à la fin du XVIII[e] siècle, et s'est répandu en Europe au XX[e] siècle, où il est très cultivé ;
– le maïs tuniqué : c'est le plus primitif des types de maïs, dont les grains sont enfermés

dans des bractées ; il n'est pas cultivé à l'échelle commerciale ;
- le maïs à éclater ou pop-corn : il a des grains petits avec une proportion élevée d'albumen corné très dur et un peu d'amidon tendre au centre ; lorsqu'on chauffe ce grain, la vapeur générée à l'intérieur provoque son éclatement et le fait exploser, et l'albumen se retrousse autour de l'embryon et de l'enveloppe pour produire cette masse blanche et savoureuse qu'on appelle le pop-corn : chez les cultivars de type "rice pop-corn", les grains sont pointus et chez les "pearl pop-corn", ils sont arrondis ; très important aux Etats-Unis et au Mexique, le pop-corn est aussi devenu un amuse-gueule répandu en Afrique tropicale ;
- le maïs farineux ou maïs tendre : le grain peut avoir toutes sortes de couleurs, il est généralement dépourvu de dépression en forme de dent, et l'albumen est constitué d'amidon tendre ; grillé, il se mâche plus facilement que le maïs corné et il est également plus facile à moudre, mais il est sensible aux moisissures et se brise facilement quand on le manipule ; ce type de maïs, qui est l'un des plus anciens, était largement cultivé dans les régions sèches des Etats Unis, dans l'ouest de l'Amérique du Sud et en Afrique du Sud ; il est encore largement cultivé dans les Andes et de petites quantités sont produites aux Etats-Unis ; dans le sud de l'Afrique de l'Ouest, les gens adorent le maïs farineux ;
- le maïs doux (maïs sucré) : le grain contient un albumen brillant et peu d'amidon, ce qui lui donne un aspect ridé une fois sec ; il est généralement consommé à l'état immature, comme légume frais ; surtout produit aux Etats-Unis, il est aujourd'hui en vogue auprès des élites dans les pays africains ;
- le maïs cireux ("waxy") : son amidon, composé entièrement d'amylopectine, est utilisé dans la fabrication d'adhésifs ; on le cultive surtout dans l'est de l'Asie pour l'alimentation humaine, mais aussi en Occident pour des usages industriels.

De nombreux cultivars appartenant à ces divers groupes sont cultivés dans différentes parties du monde.

Croissance et développement La première feuille de maïs sort généralement du sol 4–6 jours après le semis. La température minimale de germination est de 10°C ; la température optimale autour de 20°C. La plante a parfois quelques talles, qui sont intéressants dans les peuplements de faible densité. Plus tard au cours de sa croissance, des verticilles de racines aériennes peuvent se développer à partir des nœuds inférieurs situés au-dessus du sol, et peuvent aider la plante à s'ancrer tout en contribuant à son absorption d'eau et de nutriments. L'initiation florale survient généralement 20–30 jours après la germination. Le maïs est protandre : chez les cultivars qui mûrissent en 4 mois, l'inflorescence mâle apparaît 50–60 jours après le semis et les styles de l'inflorescence femelle apparaissent environ une semaine plus tard. Le maïs est mûr 7–8 semaines après la floraison. La période qui va du semis à la récolte varie considérablement. Elle peut ne pas dépasser 70 jours chez certains cultivars exceptionnellement précoces tandis qu'elle se prolonge jusqu'à 200 jours chez certains cultivars très tardifs. Les conditions climatiques, la latitude et l'altitude influent sur la durée de la végétation. Dans les hautes terres tropicales, elle peut prendre 9–10 mois jusqu'à la maturité. Le maïs est avant tout une plante à fécondation croisée (90–95%), mais il est autofertile. Le maïs a une photosynthèse en C_4.

Ecologie Le maïs s'adapte à toutes sortes d'environnements, mais c'est surtout une culture de régions chaudes disposant d'une humidité suffisante. Le plus gros de la production a lieu dans les régions tropicales et subtropicales. En Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, c'est la savane guinéenne qui offre au maïs les meilleures conditions écologiques. Mais les régions de moyenne altitude d'Afrique de l'Est et d'Afrique australe lui conviennent également. En Ethiopie, par exemple, le maïs est cultivé principalement entre 1000–2400 m d'altitude. Il est généralement moins bien adapté à des climats semi-arides ou équatoriaux, quoique l'on trouve aujourd'hui des cultivars tolérants à la sécheresse et adaptés aux conditions semi-arides. Pour sa croissance et son développement, la plante a besoin d'une température quotidienne moyenne d'au moins 20°C ; la température optimale étant de 25–30°C ; au-dessus de 35°C, les rendements baissent. Le gel n'est pas toléré. Pour des rendements optimaux, le maïs a besoin d'un ensoleillement abondant. Le moment de la floraison subit l'influence de la photopériode et de la température ; le maïs est considéré comme une plante de jours courts à réaction quantitative. Il est moins résistant à la sécheresse que le sorgho, le mil et l'éleusine. Sous les tropiques, il pousse mieux là où il tombe 600–900 mm de précipitations bien réparties pendant la saison de croissance. Il est particulièrement sensible à

la sécheresse et à des températures élevées au moment de la floraison.
Le maïs peut se cultiver sur toutes sortes de sols, mais ce sont les sols profonds, bien drainés et bien aérés, contenant suffisamment de matière organique et bien approvisionnés en nutriments qui lui réussissent le mieux. Le rendement élevé du maïs représente un prélèvement important des nutriments du sol, raison pour laquelle on le cultive en tête de rotation. On peut le cultiver sur des sols dont le pH est de 5–8, mais l'idéal est 5,5–7. Il ne tolère pas l'asphyxie racinaire et il est sensible à la salinité. Etant donné qu'une grande partie du sol reste à nu lorsque la plante est jeune, il peut y avoir une érosion du sol et des pertes en eau importantes ; il faut donc veiller à prendre les mesures de conservation du sol et de l'eau qui s'imposent.

Multiplication et plantation Le maïs se multiplie par graines et le semis direct est fréquent. Le poids de 1000 graines est de 150–300 g. De préférence, le semis doit se faire tôt en saison, dès que l'état du sol et la température sont favorables et que les précipitations sont bien établies. Les petits paysans sèment le maïs à la main, tandis que le semis mécanique se pratique sur les grandes exploitations agricoles. Un semis manuel demande 5–10 jours de main d'œuvre par ha. On fait tomber la semence dans le sillon tracé par la charrue, ou dans des trous pratiqués avec un bâton ou une houe. On sème soit en poquets soit en lignes, sur terrain plat ou sur billons. La culture sur billons ou sur monticules se pratique d'habitude sur sols lourds, afin d'améliorer le drainage. La densité de semis atteint 25 kg/ha pour une culture pure, et 10–15 kg/ha en culture intercalée. Lorsque le maïs est semé en lignes, on ménage habituellement un espacement de 75–90 cm entre les lignes et de 25–50 cm sur la ligne, en mettant 1–3 graines par poquet, ce qui donne une densité de plantation de 40 000–80 000 pieds/ha. Un écartement trop large aboutit à une multiplication des mauvaises herbes et augmente l'érosion. Pour obtenir un rendement élevé, il est très important que la culture ait une implantation uniforme, car la capacité de tallage du maïs est limitée. La profondeur de semis est généralement de 3–8 cm, en fonction de l'état du sol et de la température. Sur sols légers et secs, un semis profond est recommandé. Dans les petites exploitations, la terre est travaillée d'ordinaire à la main ou à l'aide d'animaux de trait. Pratiqué à une profondeur de 8–10 cm en général, le labour s'effectue juste avant ou au moment du semis. On épand parfois du fumier ou des engrais au moment du semis.
Le maïs se cultive seul ou en association avec d'autres cultures vivrières telles que le haricot commun, le niébé, le pois cajan, l'arachide, l'igname, le manioc, la patate douce, la courge, le melon ou la pastèque. Dans certains endroits d'Afrique tropicale, on cultive le maïs deux fois par an. Dans les régions où la saison des pluies est trop courte, on ne pratique qu'une seule culture, mais il est possible de procéder à une seconde culture sous irrigation, ou bien sur la base de l'humidité résiduelle dans les sols lourds, ou encore sur des sols hydromorphes.

Gestion Le maïs est très sensible à la concurrence des adventices au cours des 4–6 semaines après la levée, et il est très important de désherber. Il faut semer dès que possible après la préparation du lit de semis. Le travail au cultivateur entre les lignes, pour lutter contre les adventices et émietter la croûte du sol, reste praticable jusqu'à ce que les plantes atteignent 1 m de haut. Le désherbage, qui se fait surtout à la main, nécessite au moins 25 jours de main d'œuvre par ha. La lutte chimique prend de l'importance en Afrique tropicale, parce que le désherbage manuel prend du temps et coûte cher en raison de la raréfaction de la main-d'œuvre. Le billonnage et le buttage sont parfois pratiqués. La plus grande partie de la production de maïs en Afrique tropicale est pluviale. Il arrive que dans des programmes d'irrigation, il soit cultivé sur les diguettes. En général, le maïs réagit bien à la fertilisation. Une culture produisant 2 t de grain et 5 t de restes végétatifs absorbe environ 60 kg de N, 10 kg de P et 70 kg de K par ha. La fixation d'azote, lente pendant le premier mois qui suit le semis, atteint son maximum pendant la formation des inflorescences. Le maïs est très gourmand en azote, qui est souvent le nutriment limitant. L'azote doit être appliqué en grandes quantités et en 2 fois ; une au moment du semis ou 2–3 semaines après la levée et la seconde environ 2 semaines avant la floraison. Les phosphates ne sont pas absorbés facilement par le maïs et, qui plus est, de nombreux sols tropicaux ont une carence en phosphate disponible. Il est recommandé d'employer des fumures organiques avant le labour pour améliorer la structure du sol et lui apporter des nutriments. Mais en Afrique tropicale, les petits paysans n'utilisent presque pas d'engrais sur le maïs. Et s'ils le font, ce n'est généralement qu'une seule fois, environ 4 semaines

après la plantation, quand les plantes arrivent à hauteur de genou.
Le maïs se cultive en rotation avec l'arachide, le haricot commun, le niébé, le coton et le tabac. La rotation avec le soja est de plus en plus adoptée au nord du Nigeria ; elle augmente les rendements en procurant au maïs de l'azote et en réduisant les parasites. Aux Etats-Unis, le maïs est souvent cultivé en rotation avec le soja.

Maladies et ravageurs Les plus importantes maladies fongiques du maïs en Afrique tropicale sont des pourritures qui affectent l'inflorescence femelle (*Fusarium* spp. et autres champignons), un complexe de pourritures de la tige (*Diplodia maydis*, *Fusarium moniliforme*, *Macrophomina phaseoli* et *Pythium aphanidermatum*) et des brûlures des feuilles (*Exserohilum turcicum* et *Bipolaris maydis*). Plus localisés, sévissent également le mildiou (*Peronosclerospora sorghi*), le charbon (*Ustilago maydis*) et des rouilles (*Puccinia sorghi* et *Puccinia polysora*). La cercosporose (*Cercospora zeae-maydis*) a un gros impact en Afrique de l'Est et en Afrique australe, mais en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale elle ne se présente que dans les régions de moyenne altitude. La résistance de la plante hôte est la mesure de lutte la plus efficace. Il existe des cultivars résistants à la brûlure des feuilles (*Exserohilum turcicum*) et au mildiou. On trouve aujourd'hui en Afrique tropicale des cultivars de maïs résistants à de multiples maladies. La contamination de l'épi par les mycotoxines peut être limitée par des mesures telles que précocité de la récolte, rapidité du séchage, tri des grains endommagés et infectés, moyens sanitaires (élimination des résidus de culture, nettoyage des locaux de stockage, élimination des épis très atteints), amélioration du stockage et recours aux fongicides. La maladie virale du maïs qui fait le plus de dégâts est le virus de la striure du maïs (MSV), qui reste cantonné à l'Afrique et peut entraîner des pertes de rendements de 100%. Il est transmis par des cicadelles (*Cicadulina* spp.) et il a un impact considérable sur les cultures semées tardivement. Mais il existe des cultivars résistants à ce virus. De moindre importance en Afrique tropicale, citons aussi le virus de la mosaïque nanisante du maïs (MDMV), le virus de la mosaïque de la canne à sucre (SCMV) et le virus de la marbrure chlorotique du maïs (MCMV). Le maïs est relativement tolérant aux nématodes présents dans les sols tropicaux.
Les insectes ravageurs du maïs qui font le plus de dégâts en Afrique tropicale sont les vers gris (*Agrotis* spp.), les foreurs de tiges (surtout *Busseola fusca*, *Eldana saccharina*, *Sesamia calamistis* et *Chilo partellus*), le foreur de l'épi (*Mussidia nigrivenella*), les noctuelles (*Helicoverpa armigera*, *Spodoptera exempta*), les cicadelles (*Cicadulina* spp.) et plus rarement, le criquet puant (*Zonocerus variegatus*). Il arrive que les termites et les criquets infestent aussi les champs de maïs. Il peut être nécessaire de recourir à des insecticides pour lutter contre ces ravageurs. Les méthodes culturales de lutte font appel au semis précoce et à l'enfouissement ou au brûlage des résidus de culture. Bien que la lutte biologique contre les foreurs de tiges à l'aide d'ennemis naturels n'ait pas vraiment porté ses fruits, elle reste une option potentiellement viable. Le maïs n'est pas la proie des oiseaux.
Les ravageurs courants du maïs stocké sont l'alucite des céréales (*Sitotroga cerealella*), la pyrale (*Ephestia cautella*), les charançons du grain (*Sitophilus* spp.) et le grand capucin (*Prostephanus truncatus*). On peut traiter les grains avec de petites quantités d'insecticide (par ex. du malathion) pour lutter contre ces ravageurs. Les rongeurs sont aussi d'importants ravageurs du grain stocké en Afrique tropicale.
Le striga parasite (*Striga* spp.) représente une contrainte sérieuse dans la production de maïs dans de nombreuses régions d'Afrique tropicale, en particulier *Striga hermonthica* (Delile) Benth. en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, et *Striga asiatica* (L.) Kuntze en Afrique australe. Aucune mesure de lutte simple n'est efficace contre cette adventice, et par conséquent l'approche intégrée est indiquée ; elle fait appel à des semences de maïs exemptes de graines de *Striga*, à la mise en place de cultivars résistants, à une bonne utilisation des engrais (notamment N), à la rotation des cultures (par ex. avec du coton, du soja ou du niébé) et à l'élimination des pieds de *Striga* avant leur floraison.

Récolte Le maïs se récolte d'habitude à la main. Mais sur les grandes exploitations, on pratique la récolte mécanisée. Les indicateurs de maturité sont des feuilles jaunies, des spathes sèches et papyracées autour des épis, ainsi que des grains durs, brillants en surface. Pendant la saison sèche, on laisse souvent le maïs sécher au champ jusqu'à ce que la teneur en humidité du grain soit tombée à 15–20%. Si la récolte se fait à la main, il faut détacher les épis en les cassant avec le moins possible de

pédoncule. On peut récolter en conservant les spathes qui enveloppent les épis. Retroussées, elles pourront servir à lier ensemble plusieurs épis qui seront suspendus pour sécher. Une autre méthode consiste à débarrasser entièrement les épis des spathes, et à les mettre à sécher dans des cribs.

Rendements Le potentiel de rendement du maïs est le plus élevé de toutes les céréales. Le rendement mondial moyen actuel du maïs est de 4,4 t/ha, mais des rendements en grain de plus de 20 t/ha sont possibles. En Afrique tropicale, les moyennes de rendement de maïs sont d'environ 1,25 t/ha, mais il y a des variations importantes : de moins de 1 t/ha pour les petits paysans à près de 6 t/ha pour les exploitations commerciales. Des rendements supérieurs à 10 t/ha ont été enregistrés, mais ils restent exceptionnels. En 2001, les rendements moyens en maïs dans les différentes sous-régions d'Afrique tropicale étaient les suivants : Afrique de l'Ouest 1,3 t/ha, Afrique centrale 1,0 t/ha, Afrique de l'Est 1,6 t/ha et Afrique australe 1,4 t/ha.

Traitement après récolte Dans la plupart des régions de production, les principaux problèmes qui se posent au maïs après la récolte sont la réduction du taux d'humidité du grain à 12–15%, la protection contre les insectes et les rongeurs, et la qualité du stockage. Un taux d'humidité élevé associé à des températures ambiantes élevées peut entraîner des avaries considérables et rendre la production impropre à la consommation, tant par les humains que le bétail. C'est pourquoi le maïs-grain destiné à l'auto-consommation est séché au soleil pendant plusieurs jours en suspendant les épis attachés par les spathes, ou en les mettant dans un endroit bien aéré ou dans un crib. L'égrenage se fait en général à la main, mais il existe des égreneuses mécaniques. Le pourcentage d'égrenage est d'environ 75%. Après un séchage de quelques jours, le grain est ensuite conservé dans des sacs, des bidons ou des paniers. Bien que le taux optimal d'humidité pour le stockage soit de 12–13%, il n'est souvent guère inférieur à 18%. Les semences destinées à la culture suivante sont prélevées par les petits paysans sur la récolte précédente. Les épis sélectionnés sont conservés à la maison dans leurs spathes au-dessus du foyer pour empêcher les dégâts dus aux insectes.

Ressources génétiques Les plus vastes collections de ressources génétiques de maïs sont détenues en Inde (Indian Agricultural Research Institute de New Delhi, 25 000 entrées), au Mexique (Centre international pour l'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) de Mexico, 22 140 entrées), aux Etats-Unis (USDA-ARS North Central Regional Plant Introduction Station, Iowa State University, Ames, Iowa, 17 910 entrées) et en Chine (Institute of Crop Germplasm Resources (CAAS) de Pékin, 15 840 entrées). En Afrique tropicale, des collections importantes sont détenues au Kenya (Kenya Agricultural Research Institute (KARI), National Agricultural Research Centre de Kitale, 1780 entrées), au Malawi (Malawi Plant Genetic Resources Centre, Chitedze Agricultural Research Station, Lilongwe, 970 entrées), au Rwanda (Institut des sciences agronomiques du Rwanda (ISAR), Butare, 580 entrées).

Sélection L'amélioration génétique du maïs en Afrique tropicale a commencé par l'introduction de matériel amélioré provenant d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud. Certains cultivars furent multipliés et distribués directement aux paysans, tandis qu'on en soumettait d'autres à l'amélioration génétique. Le principal objectif était d'obtenir des maïs résistants à diverses maladies comme la rouille, la brûlure des feuilles, le charbon et la cercosporose. De nombreux cultivars résistants aux maladies qui sévissaient furent mis sur le marché. Les premières étapes de l'amélioration du maïs dans la région consistèrent à mettre au point pour les paysans des composites (mélanges de génotypes de diverses provenances qui se maintiennent par pollinisation naturelle) et des cultivars synthétiques (produits en croisant plusieurs génotypes selon toutes les combinaisons possibles en les maintenant ensuite par pollinisation libre). Des hybrides F_1 (descendance de première génération issue de croisements entre des parents génétiquement distincts) offrant un rendement en grain nettement supérieur furent produits aux Etats-Unis et dans certains pays d'Afrique tropicale au début du XXe siècle. C'est à cette époque que le Zimbabwe, par exemple, adopta les hybrides ; la plupart des autres pays d'Afrique tropicale n'étaient pas en mesure de cultiver des hybrides parce qu'il n'existait pas de société semencière capable de produire des semences hybrides et de les distribuer en quantités commerciales. Deux instituts de recherche internationaux, l'IITA (Institut international d'agriculture tropicale) et le CIMMYT, lancèrent des programmes de sélection dans la région et donnèrent ainsi un important coup d'accélérateur à la création de cultivars améliorés. Avec le temps, de nombreux pays africains instaurè-

rent aussi leurs propres programmes d'amélioration et mirent au point des cultivars de maïs destinés à leurs besoins spécifiques. Les ressources génétiques du CIMMYT et de l'IITA ont été beaucoup utilisées dans ces programmes. La demande en maïs continua à croître, ce qui nécessitait que l'on essaye d'améliorer les rendements des cultivars que faisaient pousser les paysans. Les semences hybrides sont couramment utilisées en agriculture intensive, avec un recours massif aux engrais et des équipements adaptés à une bonne production de semences. En Afrique tropicale, des méthodes telles que la sélection récurrente, la création de lignées consanguines et l'hybridation ont servi pour l'amélioration génétique du maïs. Des sociétés semencières se créent maintenant dans nombre de pays, ce qui rend possible la production de semences hybrides en quantités commerciales. Mais en agriculture extensive, les cultivars composites ou synthétiques sont sans doute préférables, car ils permettent aux paysans de réutiliser des semences d'une récolte sur l'autre, et leur base génétique élargie leur permet de mieux s'adapter à des conditions de croissance variables. En amélioration du maïs, on met surtout l'accent sur l'incorporation d'une résistance aux stress biotiques et abiotiques. Les paysans d'Afrique tropicale disposent aujourd'hui de plusieurs variétés-populations ainsi que d'hybrides F_1 résistants à un ou plusieurs facteurs de stress, dont *Striga*, des maladies, des insectes ravageurs, la sécheresse et un faible taux d'azote dans le sol. 'Obatanpa', un maïs à haute qualité protéique (QPM) offrant une teneur plus élevée en tryptophane et lysine et créé par des sélectionneurs de maïs au Ghana, est largement cultivé en Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, ainsi que dans certains pays de l'Afrique de l'Est et d'Afrique australe. Par comparaison avec d'autres espèces, le taux d'adoption de cultivars améliorés est relativement élevé pour le maïs en Afrique tropicale. On estime à 35–50% la superficie du maïs cultivé en Afrique tropicale avec des cultivars améliorés, tant variétés-populations qu'hybrides F_1, mais il existe de grosses différences d'un pays à l'autre.

Diverses techniques sont disponibles pour la régénération in vitro du maïs, à l'aide de culture de tissus, de suspensions de cellules, de parties de plantes excisées et d'embryons immatures. La transformation génétique du maïs est possible par des méthodes utilisant *Agrobacterium* et des méthodes biolistiques, mais l'efficacité de cette dernière solution est relativement faible. La transformation génétique du maïs est désormais une pratique commerciale de routine, bien qu'on ne dispose pas encore de techniques qui soient indépendantes du génotype. En 2001, la superficie mondiale occupée par le maïs transgénique était estimée à 9,8 millions d'ha, et le maïs venait seulement à la deuxième place derrière le soja pour les superficies cultivées en plantes transgéniques. Les principaux types de maïs transgénique cultivés sont le maïs Bt (un maïs doté de gènes de *Bacillus thuringiensis* qui confèrent une résistance à la pyrale du maïs *Ostrinia nubilalis*), le maïs tolérant aux herbicides ou des types possédant les deux caractères. Le maïs Bt a été commercialisé en Afrique du Sud. Le CIMMYT travaille sur un maïs Bt destiné à l'Afrique tropicale, notamment pour lutter contre les foreurs de tiges. Des laboratoires industriels et universitaires testent les transgènes capables d'améliorer la qualité du grain, par ex. en augmentant leur teneur en lysine. Le maïs fut l'une des premières plantes cultivées à faire l'objet de cartographie moléculaire ; la première carte moléculaire remonte à 1986. Depuis lors, de nombreuses cartes de liaisons génétiques ont été établies, principalement à l'aide de marqueurs RFLP, SSR et SNP ; elles ont été intégrées dans une carte de liaisons à haute densité. Des locus de caractères quantitatifs (QTL) ont été localisés pour toutes sortes de caractères, y compris le rendement en grain, la résistance aux maladies et ravageurs, la tolérance à la sécheresse, ainsi que la teneur en huile et en protéines du grain. Le séquençage du génome du maïs est difficile en raison de sa grande taille (2500 Mpb), de sa complexité et de son caractère extrêmement répétitif.

Perspectives Le maïs va conserver le rôle considérable qu'il joue dans la production alimentaire africaine. Dans de vastes régions d'Afrique de l'Est et d'Afrique australe, c'est le principal aliment de base. Même s'il a moins d'importance en l'Afrique de l'Ouest et en Afrique centrale, pour ces parties du continent le maïs reste une source d'énergie essentielle, notamment dans certaines régions de la Côte d'Ivoire, du Ghana, du Bénin et du Nigeria. De toutes les céréales, c'est le maïs qui a le rendement le plus élevé par heure de main d'œuvre investie ; c'est généralement la première plante que l'on récolte pour se nourrir au cours de la période de soudure de l'année ; il est facile à cultiver, seul ou en association avec d'autres espèces ; il est facile à récolter, il ne s'égrène pas et n'est pas sujet aux attaques des

oiseaux. De nombreuses technologies liées au maïs ont été mises au point dans les stations de recherches nationales et internationales d'Afrique, mais il reste aux paysans à adopter la plupart d'entre elles. Cela a contribué à créer une grande différence de rendement entre les champs cultivés par les chercheurs et ceux cultivés par les paysans. Les semences de bonne qualité viennent vite à manquer, car la plupart des pays, notamment ceux d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique centrale, ne possèdent pas de secteur semencier bien organisé. Les paysans ont également besoin d'avoir plus facilement accès aux engrais, aux produits phytosanitaires et autres intrants. Des cultivars et des techniques agricoles bien adaptés aux systèmes agraires en usage sont aujourd'hui mis au point en collaboration avec les paysans, dans ce qu'on appelle la sélection participative.

Références principales Abalu, 2001; Badu-Apraku et al. (Editors), 2003b; Byerlee & Eicher (Editors), 1997; IITA (International Institute of Tropical Agriculture), 1992; Kling & Edmeades, 1997; Koopmans, ten Have & Subandi, 1996; Kulp & Ponte (Editors), 2000; Ristanovic, 2001; Smith, Betrán & Runge (Editors), 2004; White & Johnson (Editors), 2003.

Autres références Aljanabi, 2001; Badu-Apraku et al., 2003a; Bankole & Adebanjo, 2003; Blackie, 1994; Buddenhagen & Bosque-Pérez, 1999; Burkill, 1994; Cope, 1995; de Vries & Toenniessen, 2001; Dowswell, Paliwal & Cantrell, 1996; Evenson & Gollin (Editors), 2003; James, 2002; Marchand et al., 1997; Neuwinger, 2000; Phillips, 1995; Polaszek (Editor), 1998; Rybicki & Pietersen, 1999; Sprague & Dudley, 1988; Taba, 1997; USDA, 2004; van Wyk & Gericke, 2000.

Sources de l'illustration Koopmans, ten Have & Subandi, 1996.

Auteurs B. Badu-Apraku & M.A.B. Fakorede
Basé sur PROSEA 10: Cereals.

Céréales et légumes secs ayant un autre usage primaire

Liste des espèces dans les autres groupes d'usage (entre parenthèses), qui sont utilisées également comme céréale ou légume sec. Les synonymes sont en retrait (9 novembre 2005).
Les noms cités ci-dessous n'ont pas été répétés dans l'Index des noms scientifiques des plantes (p. 319).

Abrus precatorius (plantes médicinales)
Acacia macrostachya (plantes médicinales)
Acacia polyacantha (huiles essentielles et exsudats)
 Acacia campylacantha
Acacia senegal (huiles essentielles et exsudats)
 Mimosa senegal
 Senegalia senegal
Acacia tortilis (plantes fourragères)
 Acacia spirocarpa
 Acacia raddiana
Adenanthera pavonina (bois d'œuvre)
Afzelia pachyloba (bois d'œuvre)
Afzelia parviflora (bois d'œuvre)
 Afzelia bracteata
Amaranthus cruentus (légumes)
 Amaranthus paniculatus
 Amaranthus sanguineus
 Amaranthus hybridus
Amaranthus graecizans (légumes)
 Amaranthus angustifolius
 Amaranthus silvestris
Amaranthus hypochondriacus (légumes)
Amblygonocarpus andongensis (bois d'œuvre)
 Amblygonocarpus schweinfurthii
Anthephora nigritana (plantes fourragères)
Anthephora pubescens (plantes fourragères)
 Anthephora hochstetteri
Anthonotha macrophylla (bois d'œuvre)
 Macrolobium macrophyllum
Baikiaea insignis (plantes ornementales)
Baphia nitida (colorants et tanins)
Boerhavia repens (plantes médicinales)
Bombax rhodognaphalon (bois d'œuvre)
 Bombax stolzii
Brachiaria comata (plantes fourragères)
 Brachiaria kotschyana
Brachiaria jubata (plantes fourragères)
 Brachiaria fulva
Brachiaria lata (plantes fourragères)
 Urochloa lata
Brachiaria ramosa (plantes fourragères)
Brachiaria serrifolia (plantes fourragères)
Brachiaria stigmatisata (plantes fourragères)
Brachiaria villosa (plantes fourragères)
 Brachiaria distichophylla
Brachystegia eurycoma (bois d'œuvre)
Brachystegia nigerica (bois d'œuvre)
Bussea massaiensis (bois d'œuvre)
Bussea occidentalis (bois d'œuvre)
Cajanus scarabaeoides (plantes auxiliaires)
 Atylosa scarabaeoides
Calpocalyx aubrevillei (bois d'œuvre)
Calpocalyx brevibracteatus (bois d'œuvre)
Canavalia africana (légumes)
 Canavalia virosa
Canavalia ensiformis (légumes)
Canavalia gladiata (légumes)
Cathormion altissimum (plantes médicinales)
 Albizia altissima
 Pithecellobium altissimum
Cenchrus ciliaris (plantes fourragères)
Cenchrus setigerus (plantes fourragères)
Chenopodium album (légumes)
Chenopodium murale (légumes)
Chloris lamproparia (plantes fourragères)
Combretum aculeatum (plantes à fibres)
Cordyla pinnata (plantes auxiliaires)
Cyamopsis tetragonoloba (plantes fourragères)
Dactyloctenium aegyptium (plantes fourragères)
Dactyloctenium giganteum (plantes fourragères)
Daniellia oliveri (huiles essentielles et exsudats)
Delonix elata (plantes ornementales)
Detarium microcarpum (plantes médicinales)
Detarium senegalense (bois d'œuvre)
Dichrostachys cinerea (plantes médicinales)
 Dichrostachys glomerata
 Dichrostachys nyassana
Digitaria ciliaris (plantes fourragères)
Digitaria debilis (plantes fourragères)
Digitaria delicatula (plantes fourragères)
Digitaria leptorhachis (plantes fourragères)
Digitaria longiflora (plantes fourragères)
Digitaria nuda (plantes fourragères)
Dioclea reflexa (plantes médicinales)
Dolichos trilobus (plantes auxiliaires)
Echinochloa colona (plantes fourragères)
 Panicum colonum
Echinochloa crus-galli (plantes fourragères)
Echinochloa crus-pavonis (plantes fourragères)

Echinochloa pyramidalis (plantes fourragères)
Eleusine indica (plantes fourragères)
Entada gigas (plantes à fibres)
Entada scandens
Entada rheedei (plantes à fibres)
Entada pursaetha
Enteropogon prieurii (plantes fourragères)
Chloris prieurii
Eragrostis cilianensis (plantes fourragères)
Eragrostis megastachya
Eragrostis ciliaris (plantes fourragères)
Eragrostis curvula (plantes fourragères)
Eragrostis minor (plantes fourragères)
Eragrostis pooides
Eragrostis pilosa (plantes fourragères)
Eragrostis tenella (plantes fourragères)
Eragrostis tremula (plantes fourragères)
Eragrostis turgida (plantes fourragères)
Eriochloa fatmensis (plantes fourragères)
Eriochloa nubica
Eriochloa acrotricha
Eriosema macrostipulum (sucres et amidons)
Eriosema erectum
Erythrina variegata (plantes auxiliaires)
Erythrina indica
Faidherbia albida (plantes auxiliaires)
Acacia albida
Gilbertiodendron dewevrei (bois d'œuvre)
Macrolobium dewevrei
Gilletiodendron glandulosum (plantes auxiliaires)
Glinus lotoides (plantes médicinales)
Guibourtia coleosperma (bois d'œuvre)
Guibourtia ehie (bois d'œuvre)
Hyparrhenia nyassae (plantes à fibres)
Indigofera cordifolia (plantes fourragères)
Intsia bijuga (bois d'œuvre)
Afzelia bijuga
Ipomoea eriocarpa (légumes)
Ipomoea hispida
Ipomoea sessiliflora
Ischaemum afrum (plantes fourragères)
Ischaemum rugosum (plantes fourragères)
Kyllinga alba (huiles essentielles et exsudats)
Lablab purpureus (légumes)
Lablab niger
Lablab vulgaris
Dolichos lablab
Lantana camara (plantes médicinales)
Lasiurus scindicus (plantes fourragères)
Lasiurus hirsutus
Leptothrium senegalense (plantes fourragères)
Leucaena leucocephala (plantes auxiliaires)
Leucaena glauca
Limeum viscosum (plantes fourragères)
Lotus arabicus (plantes fourragères)
Macroptilium lathyroides (plantes fourragères)
Monopetalanthus pteridophyllus (bois d'œuvre)
Mucuna poggei (colorants et tanins)
Mucuna rubro-aurantiaca
Mucuna pesa
Mucuna pruriens (plantes auxiliaires)
Mucuna cochinchiniensis
Mucuna aterrima
Mucuna nivea
Mucuna sloanei (colorants et tanins)
Nymphaea lotus (sucres et amidons)
Oxytenanthera abyssinica (bois d'œuvre)
Oxytenanthera borzii
Panicum fluviicola (plantes fourragères)
Panicum aphanoneurum
Panicum humile (plantes fourragères)
Panicum walense
Panicum maximum (plantes fourragères)
Panicum jumentorum
Panicum pansum (plantes fourragères)
Panicum kerstingii
Panicum subalbidum (plantes fourragères)
Panicum longijubatum
Parkia bicolor (bois d'œuvre)
Parkia biglobosa (épices et condiments)
Mimosa biglobosa
Parkia africana
Parkia clappertoniana
Parkia filicoidea
Parkia filicoidea (bois d'œuvre)
Parkinsonia aculeata (plantes auxiliaires)
Paspalum scrobiculatum (plantes fourragères)
Paspalum orbiculare
Paspalum polystachyum
Paspalum lamprocaryon
Pennisetum unisetum (plantes fourragères)
Beckeropsis uniseta
Piliostigma reticulatum (plantes à fibres)
Bauhinia reticulata
Piliostigma thonningii (plantes à fibres)
Bauhinia thonningii
Polygala butyracea (plantes à fibres)
Prosopis africana (bois d'œuvre)
Prosopis glandulosa (plantes auxiliaires)
Psophocarpus scandens (légumes)
Psophocarpus longepedunculatus
Psophocarpus tetragonolobus (légumes)
Pterocarpus santalinoides (bois d'œuvre)
Pueraria phaseoloides (plantes auxiliaires)
Requienia obcordata (plantes fourragères)
Tephrosia obcordata
Rottboellia cochinchinensis (plantes fourragères)
Rottboellia exaltata
Saccharum spontaneum (plantes auxiliaires)
Sacciolepis africana (plantes fourragères)
Schotia brachypetala (bois d'œuvre)

Senna obtusifolia (légumes)
Cassia obtusifolia
Sesamum indicum (oléagineux)
Sesamum orientale
Sesbania rostrata (plantes auxiliaires)
Sesbania sesban (plantes auxiliaires)
Sesbania aegyptiaca
Setaria geminata (plantes fourragères)
Paspalidium geminatum
Setaria palmifolia (plantes fourragères)
Setaria pumila (plantes fourragères)
Setaria pallide-fusca
Setaria sphacelata (plantes fourragères)
Setaria anceps
Setaria aurea
Setaria verticillata (plantes fourragères)
Sorghum arundinaceum (plantes fourragères)
Sorghum aethiopicum
Sorghum verticilliflorum
Sorghum virgatum
Sorghum halepense (plantes fourragères)
Sorghum purpureo-sericeum (plantes fourragères)
Sphenostylis marginata (sucres et amidons)
Sphenostylis erecta
Sphenostylis schweinfurthii (sucres et amidons)
Sporobolus africanus (plantes fourragères)
Sporobolus festivus (plantes fourragères)
Sporobolus pyramidalis (plantes fourragères)
Sporobolus indicus
Sporobolus spicatus (plantes auxiliaires)
Sporobolus virginicus (plantes auxiliaires)
Stenotaphrum secundatum (plantes auxiliaires)
Sterculia africana (plantes à fibres)
Sterculia mhosya (plantes médicinales)
Sterculia quinqueloba (bois d'œuvre)
Sterculia rhynchocarpa (plantes médicinales)
Stipagrostis pungens (plantes fourragères)
Stipagrostis uniplumis (plantes fourragères)
Tamarindus indica (fruits)
Tetrapleura tetraptera (plantes médicinales)
Themeda triandra (plantes fourragères)
Tribulus terrestris (plantes fourragères)
Trigonella foenum-graecum (épices et condiments)
Triplisomeris explicans (bois d'œuvre)
Anthonotha explicans
Vigna angivensis (sucres et amidons)
Vigna trilobata (plantes auxiliaires)
Xeroderris stuhlmannii (bois d'œuvre)
Ostryoderris stuhlmannii
Xylia evansii (bois d'œuvre)

Bibliographie

Abalu, G.I., 2001. Policy issues in maize research and development in sub-Saharan Africa in the next millennium. In: Badu-Apraku, B., Fakorede, M.A.B., Ouedraogo, M. & Carsky, R.J. (Editors). Impact, challenges and prospects of maize research and development in West and Central Africa. Proceedings of a regional maize workshop, IITA-Cotonou, Benin Republic, 4–7 May 1999. WECAMAN/IITA, Ibadan, Nigeria. pp. 3–30.

Abate, T. & Ampofo, J.K.O., 1996. Insect pests of beans in Africa: their ecology and management. Annual Review of Entomology 41: 45–73.

Abo, M.E., Sy, A.A. & Alegbejo, M.D., 1998. Rice yellow mottle virus (RYMV) in Africa: evolution, distribution, economic significance on sustainable rice production and management strategies. Journal of Sustainable Agriculture 11(2–3): 85–111.

Abraham, A. & Makkouk, K.M., 2002. The incidence and distribution of seed-transmitted viruses in pea and lentil seed lots in Ethiopia. Seed Science and Technology 30(3): 567–574.

Aburjaj, T. & Natsheh, F.M., 2003. Plants used in cosmetics. Phytotherapy Research 17: 987–1000.

Acharrya, S.N., Mir, Z. & Moyer, J.R., 2004. ACE-1 perennial cereal rye. Canadian Journal of Plant Science 84(3): 819–821.

Achigan Dako, E., Vodouhè, S.R. & Koukè, A., 2003. Collecte des ressources génétiques du voandzou (Vigna subterranea (L.) Verdc.) et du dohi (Macrotyloma geocarpum (Harms) Maréch. et Baud.) au Centre Bénin. In: Agossou, A., Amandji, F., Agbo, B. & Tandjiékpon, A. (Editors). Actes de l'atelier scientifique du Centre des Recherches Agricoles du Centre-Savè. 18–19 décembre 2002, Dassa, Bénin. Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, Cotonou, Bénin. pp. 93–107.

Acland, J.D., 1971. East African crops: an introduction to the production of field and plantation crops in Kenya, Tanzania and Uganda. FAO, Rome, Italy/Longman, London, United Kingdom. 252 pp.

Adoukonou-Sagbadja, A., Dansi, A., Vodouhè, R. & Akpagana, K., 2004. Collecting fonio (Digitaria exilis Kipp. Stapf, D. iburua) landraces in Togo. Plant Genetic Resources Newsletter 139: 59–63.

African Studies Center, undated. Famine food field guide. [Internet] University of Pennsylvania, Philadelphia, United States. <http://www.africa.upenn.edu/faminefood/category3>. Accessed September 2004.

Aganga, A.A., Omphile, U.J., Malope, P., Chabanga, C.H., Motsamai, G.M. & Motsumi, L.G., 2000. Traditional poultry production and commercial broiler alternatives for small-holder farmers in Botswana. Livestock Research for Rural Development 12(4): 1–8.

Ageeb, A.O., Elahmadi, A.B., Sohl, M.B. & Saxena, M.C. (Editors), 1996. Wheat production and improvement in the Sudan. Proceedings of the national research review workshop, 27–30 August 1995, Wad Medani, Sudan. ICARDA, Aleppo, Syria. 262 pp.

Agong, S.G. & Ayiecho, P.O., 1991. The rate of out-crossing in grain amaranths. Plant Breeding 107: 156–160.

Ahmad, F., 1999. Random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis reveals genetic relationships among the annual Cicer species. Theoretical and Applied Genetics 98(3–4): 657–663.

Ahmad, R., Ismail, S., Bodla, M.A. & Chaudhry, M.R., 1994. Potentials for cultivation of halophytic crops on saline wastelands and sandy deserts in Pakistan to overcome feed gap for grazing animals. In: Squires, V.R. & Ayoub, A.T. (Editors). Halophytes as a resource for livestock and for rehabilitation of degraded lands. Proceedings of the international workshop on halophytes for reclamation of saline wastelands and as a resource for livestock problems and prospects, Nairobi, Kenya, 22–27 November 1993. Kluwer, Dordrecht, Netherlands. pp. 223–230.

Akalu, G., Tufvesson, F., Jönsson, C. & Nair, B.M., 1998. Physico-chemical characteristics and functional properties of starch and dietary fibre in grass pea seeds. Starch 50: 374–382.

Akem, C.N. & Dashiell, K.E., 1996. Frogeye leaf spot of soybeans; its importance and research in tropical Africa. In: Pandalai, S.G. (Editor). Recent Research Developments in Plant Pathology. Vol. 1. Research Signpost, Trivandrum, India. pp. 171–180.

Akojie, F.O.B. & Fung, L.W.-M., 1992. Antisickling activity of hydroxybenzoic acids in Cajanus cajan. Planta Medica 58: 317–320.

Akromah, R., 1987. Rice germplasm resources in Ghana. Plant Genetic Resources Newsletter 72: 41–42.

Alam, M.S., John, V.T. & Zan, K., 1985. Insect pests and diseases of rice in Africa. In: Rice improvement in Eastern, Central, and Southern Africa. IRRI, Manila, Philippines. pp. 67–82.

Alamerew, S., Chebotar, S., Huang, X., Röder, M.S. & Börner, A., 2004. Genetic diversity in Ethiopian hexaploid and tetraploid wheat germplasm assessed by microsatellite markers. Genetic Resources and Crop Evolution 51: 559–567.

Aljanabi, S., 2001. Genomics and plant breeding. Biotechnology Annual Review 7: 195–238.

Allen, D.J. & Lenné, J.M., 1998. Disease as a constraint to production of legumes in agriculture. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 1–61.

Allen, D.J., Buruchara, R.A. & Smithson, J.B., 1998. Diseases of common bean. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 179–265.

Allen, D.J., Thottappilly, G., Emechebe, A.M. & Singh, B.B., 1998. Diseases of cowpea. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 267–324.

Allkämper, J., 1984. Influence of altitude on crop growing and yield. Plant Research and Development 20: 59–71.

Aluko, G., Martinez, C., Tohme, J., Castano, C., Bergman, C. & Oard, J.H., 2004. QTL mapping of grain quality traits from the interspecific cross Oryza sativa × O. glaberrima. Theoretical and Applied Genetics 109(3): 630–639.

al-Zaid, M.M., Hassan, M.A.M., Badir, N. & Gumaa, K.A., 1991. Evaluation of blood glucose lowering activity of three plant diet additives. International Journal of Pharmacognosy 29(2): 81 88.

Amarteifio, J.O., Karikari, S.K. & Moichubedi, E., 1998. The condensed tannin content of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.). In: Jansman, A.J.M., Hill, G.D., Huisman, J. & van der Poel, A.F.B. Recent advances of research in antinutritional factors in legume seeds and rapeseed. Proceedings of the 3rd international workshop on antinutritional factors in legume seeds and rapeseed. European Association for Animal Production (EAAP) Publication No 93. Wageningen Pers, Wageningen, Netherlands. pp. 141–143.

Amuti, K., 1980. Geocarpa groundnut (Kerstingiella geocarpa) in Ghana. Economic Botany 34(4): 358–361.

Anand Kumar, K. & Andrews, D.J., 1993. Genetics of qualitative traits in pearl millet: a review. Crop Science 33: 1–20.

Anand Kumar, K. & Renard, C., 2001. Finger millet. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 9–16.

Anbessa, Y. & Bejiga, G., 2002. Evaluation of Ethiopian chickpea landraces for tolerance to drought. Genetic Resources and Crop Evolution 49(6): 557–564.

Anchirinah, V.M., Yiridoe, E.K. & Bennett-Lartey, S.O., 2001. Enhancing sustainable production and genetic resource conservation of bambara groundnut: a survey of indigenous agricultural knowledge systems. Outlook on Agriculture 30(4): 281–288.

Andrews, D.J. & Anand Kumar, K., 1996. Use of the West African pearl millet cultivar Iniadi in cultivar development. Plant Genetic Resources Newsletter 105: 15–22.

Andrews, D.J. & Bramel-Cox, P., 1993. Breeding cultivars for sustainable crop production in low input dryland agriculture in the tropics. In: Buxton, D.R., Shibles, R., Forsberg, R.A., Blad, B.L., Asay, K.H., Paulsen, G.M. & Wilson, R.F. (Editors). International Crop Science 1. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, United States. pp. 211–222.

Andrews, D.J. & Kumar, K.A., 1992. Pearl millet for food, feed and forage. Advances in Agronomy 48: 89–139.

Arnold, T.H., Wells, M.J. & Wehmeyer, A.S., 1985. Khoisan food plants: taxa with potential for future economic exploitation. In: Wickens, G.E., Goodin, J.R. & Field, D.V. (Editors). Plants for arid lands. Proceedings of the Kew international conference on economic plants for arid lands. Allen & Unwin, London, United Kingdom. pp. 69–86.

Arora, R.K. & Shri S. Mauria, 1989. Vigna mungo (L.) Hepper. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 70–71.

Arora, R.K., Chandel, K.P.S., Joshi, B.S. & Pant, K.C., 1980. Rice bean: tribal pulse of eastern India. Economic Botany 34(3): 260–263.

Asfaw, Z., 1990. An ethnobotanical study of barley in the central highlands of Ethiopia. Biologisches Zentralblatt 109(1): 51–62.

Assefa, F., Bollini, R. & Kleiner, D., 1997. Agricultural potential of little used tropical legumes with special emphasis on Cordeauxia edulis (ye-eb nut) and Sphenostylis stenocarpa (African yam bean). Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung 24: 237–242.

Assefa, G., Feyissa, F., Gebeyehu, A. & Minta, M., 2003. Characterization of selected oats varieties for their important production traits in the Highlands of Ethiopia. In: Farm animal biodiversity in Ethiopia: status and prospects. Proceedings of the 11th annual conference of the Ethiopian Society of Animal Production (ESAP), Addis Ababa, Ethiopia, 28–30 August 2003. pp 305–314.

Assefa, K., 2003. Phenotypic and molecular diversity in the Ethiopian cereal, tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter): Implications on conservation and breeding. PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp, Sweden. 42 pp.

Assefa, K., Gaj, M.D. & Maluszynski, M., 1998. Somatic embryogenesis and plant regeneration in callus culture of tef, Eragrostis tef (Zucc.) Trotter. Plant Cell Reports 18(1–2): 154–158.

Aulakh, M.S., Sidhu, B.S., Arora, B.R. & Singh, B., 1985. Content and uptake of nutrients by pulses and oilseed crops. Indian Journal of Ecology 12(2): 238–242.

Avenido, R., Motoda, J. & Hattori, K., 2001. Direct shoot regeneration from cotyledonary nodes as a marker for genomic groupings within the Asiatic Vigna (subgenus Ceratotropis (Piper) Verdc.) species. Plant Growth Regulation 35(1): 59–67.

AVRDC, 1992. Vegetable production training manual. 2nd Edition. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan. 477 pp.

Aw-Hassan, A. & Shideed, K., 2003. The impact of international and national investment in barley germplasm improvement in the developing countries. In: Evenson, R.E. & Gollin, D. (Editors). Crop variety improvement and its effect on productivity: the impact of international agricultural research. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. pp. 241–256.

Ayele, M., Tefera, H., Assefa, K. & Nguyen, H.T., 1999. Genetic characterization of two Eragrostis species using AFLP and morphological traits. Hereditas 130: 33–40.

Azam-Ali, S.N. (Editor), 2003. Proceedings of the international bambara groundnut symposium, Botswana, 8–12 September 2003. Botswana College of Agriculture, Botswana. 360 pp.

Azam-Ali, S.N., Sesay, A., Karikari, S.K., Massawe, F.J., Aguilar-Manjarrez, J., Bannayan, M. & Hampson, K.J., 2001. Assessing the potential of an underutilized crop - a case study using bambara groundnut. Experimental Agriculture 37(4): 433–472.

Badu-Apraku, B., Abamu, F.J., Menkir, A., Fakorede, M.A.B., Obeng-Antwi, K. & Thé, C., 2003a. Genotype by environment interactions in the regional early maize variety trials in West and Central Africa. Maydica 48: 93–104.

Badu-Apraku, B., Fakorede, M.A.B., Ouedraogo, M., Carsky, R.J. & Menkir, A. (Editors), 2003b. Maize revolution in West and Central Africa. Proceedings of a regional maize workshop, IITA Cotonou, Benin Republic, 14–18 May, 2001. WECAMAN/IITA, Ibadan, Nigeria. 566 pp.

Bai, G., Ayele, M., Tefera, H. & Nguyen, H. T., 2000. Genetic diversity in tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) and its relatives as revealed by random amplified polymorphic DNAs. Euphytica 112(1): 15–22.

Bai, G., Tefera, H., Ayele, M. & Nguyen, H.T., 1999. A genetic linkage map of tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) based on amplified fragment length polymorphism. Theoretical and Applied Genetics 99: 599–604.

Bajaj, Y.P.S., Sidhu, B.S. & Dubey, V.K., 1981. Regeneration of genetically diverse plants from tissue cultures of forage grass - Panicum spp. Euphytica 30: 135–140.

Bale, J.R. & Kauffman, C.S. (Editors), 1992. Special issue on grain amaranth: new potential for an old crop. Food Reviews International 8(1): 1–190.

Bally, P.R.O., 1966. Miscellaneous notes on the flora of Tropical East Africa No 29: Enquiry into the occurrence of the yeheb nut (Cordeauxia edulis) in the Horn of Africa. Candollea 21(1): 3–11.

Balole, T.V., 2001. Strategies to improve yield and quality of sweet sorghum as a cash crop for small scale farmers in Botswana. PhD thesis, University of Pretoria, South Africa. 132 pp.

Balsamo, R.A., vander Willigen, C., Boyko, W. & Farrant, J., 2005. Retention of mobile water during dehydration in the dessiccation-tolerant grass Eragrostis nindensis. Physiologia Plantarum 124(3): 336–342.

Baltensperger, D.D., 1996. Foxtail and proso millet. In: Janick, J. (Editor). Progress in new crops. ASHS Press, Alexandria, Virginia, United States. pp. 182–190.

Baltensperger, D.D., 2002. Progress with proso, pearl and other millets. In: Janick, J. & Whipkey, A. (Editors). Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, Virginia, United States. pp. 100–103.

Bankole, S.A. & Adebanjo, A.M., 2003. Mycotoxins in food in West Africa: current situation and possibilities of controlling it. African Journal of Biotechnology 2(9): 254–263.

Barna, K.S. & Mehta, S.L., 1995. Genetic transformation and somatic embryogenesis in Lathyrus sativus. Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology 4: 67–71.

Barnes, J.P. & Putnam, A.R., 1987. Role of benzoxazinones in allelopathy by rye (Secale cereale L.). Journal of Chemical Ecology 13(4): 889–906.

Bartha, R., 1970. Fodder plants in the Sahel zone of Africa. Weltforum Verlag, München, Germany. 306 pp.

Basappa, G.P., Muniyamma, M. & Chinnappa, C.C., 1987. An investigation of chromosome numbers in the genus Brachiaria (Poaceae: Paniceae) in relation to morphology and taxonomy. Canadian Journal of Botany 65: 2297–2309.

Batello, C., Marzot, M. & Touré, A.H., 2004. The future is an ancient lake: traditional knowledge, biodiversity and genetic resources for food and agriculture in Lake Chad Basin ecosystems. FAO, Rome, Italy. 307 pp.

Bationo, A., Christianson, C.B., Baethgen, W.E. & Mokwunye, A.U., 1992. A farm-level evaluation of nitrogen and phosphorus fertilizer use and planting density for pearl millet production in Niger. Fertilizer Research 31: 175–184.

Baudet, J.C., 1977. The taxonomic status of the cultivated types of Lima bean (Phaseolus lunatus L.). Tropical Grain Legume Bulletin 7: 29–30.

Baudet, J.C., 1981. Les céréales mineures: bibliographie analytique. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Paris, France. 134 pp.

Baudoin, J.P., 1988. Genetic resources, domestication and evolution of Lima bean, Phaseolus lunatus. In: Gepts, P. (Editor). Genetic resources, domestication and evolution of Phaseolus beans. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 393–407.

Baudoin, J.P., 1989. Phaseolus lunatus L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 57–60.

Baudoin, J.P., 1991. La culture et l'amélioration de la légumineuse alimentaire Phaseolus lunatus L. en zones tropicales. CTA (Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale, Ede, Pays-Bas) et FSAGx (Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique), Gembloux, Belgium. 209 pp.

Baudoin, J.P., 1993. Lima bean Phaseolus lunatus L. In: Kalloo, G. & Bergh, B.O. (Editors). Genetic improvement of vegetable crops. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. pp. 391–403.

Baudoin, J.P., 2002. Amélioration des plantes protéagineuses. Les légumineuses alimentaires (Phaseolus, Vigna, Cajanus, etc.). In: Demol, J. (Coordinator). Amélioration des plantes. Application aux principales espèces cultivées en régions tropicales. Les Presses Agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgium. pp. 351–392.

Baudoin, J.P. & Maquet, A., 1999. Improvement of protein and amino acid contents in seeds of food legumes. A case study in Phaseolus. BASE, Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement 3(4): 220–224.

Baudoin, J.P. & Mergeai, G., 2001a. Kersting's groundnut. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 352–354.

Baudoin, J.P. & Mergeai, G., 2001b. Lima bean. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 355–360.

Baudoin, J.P., Vanderborght, T., Kimani, P.M. & Mwang'ombe, A.W., 2001. Common bean. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co operation, Brussels, Belgium. pp. 317–326.

Baum, B.R., 1977. Oats: wild and cultivated. A monograph of the genus Avena L. (Poaceae). Monograph No 14. Biosystematics Research Institute, Canada Department of Agriculture, Ministry of Supply and Services, Ottawa, Canada. 463 pp.

Bayaa, B. & Erskine, W., 1998. Diseases of lentil. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 423–471.

Bechere, E., Kebede, H. & Belay, G., 2001. Durum wheat in Ethiopia: an old crop in an ancient land. Institute of Biodiversity Conservation and Research, Addis Ababa, Ethiopia. 68 pp.

Bechere, E., Tesemma, T. & Mitiku, D., 1994. Improved varieties of durum wheat in Ethiopia: releases of 1966–1994. Research Report Series No 2. Debre Zeit Agricultural Research Center, Alemaya University of Agriculture, Debre Zeit, Ethiopia. 32 pp.

Beentje, H.J., 1994. Kenya trees, shrubs and lianas. National Museums of Kenya, Nairobi, Kenya. 722 pp.

Bejiga, G., 1990. Recent advances in chickpea improvement and prospects for the nineties: eastern Africa. In: Chickpea in the nineties. Proceedings of the second international workshop on chickpea improvement, 4–8 December 1989, ICRISAT Center, India. ICRISAT, Patancheru, India. pp. 265–266.

Bejiga, G. & Degago, Y., 2000. Region 4: Sub-Sahara Africa. In: Knight, R. (Editor). Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st Century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 99–105.

Bejiga, G., Eshete, M. & Anbessa, Y., 1996. Improved cultivars and production technology of chickpea in Ethiopia. Research Bulletin No 2. Debre Zeit Agricultural Research Center, Debre Zeit, Ethiopia. 60 pp.

Bejiga, G., Tsegaye, S. & Tullu, A., 1995. Stability of seed yield for some varieties of lentil grown in the Ethiopian highlands. Crop Research 9: 337–343.

Bejiga, G., Tsegaye, S., Tullu, A. & Erskine, W., 1996. Quantitative evaluation of Ethiopian landraces of lentil (Lens culinaris). Genetic Resources and Crop Evolution 43: 293–301.

Bejiga, G., Tadesse, N., Solh, M.B., Suliman, W., Abu-Zeid, N. & Halila, H., 1998. Resistance breeding for wilt and root rot diseases in chickpea. In: Opportunities for high quality, healthy and added-value crops to meet European demands. 3rd European conference on grain legumes, 14–19 November 1998, Valladolid, Spain. European Association for Grain Legume Research (AEP), Paris, France. pp. 267.

Bekele, E., Klöck, G. & Zimmermann, U., 1995. Somatic embryogenesis and plant regeneration from leaf and root explants and from seeds of Eragrostis tef (Gramineae). Hereditas 123(2): 183–189.

Bekele-Tesemma, A., Birnie, A. & Tengnäs, B., 1993. Useful trees and shrubs for Ethiopia: identification, propagation and management for agricultural and pastoral communities. Technical Handbook No 5. Regional Soil Conservation Unit/SIDA, Nairobi, Kenya. 474 pp.

Belay, G., 1997. Genetic variation, breeding potential and cytogenetic profile of Ethiopian tetraploid wheat (Triticum turgidum L.) landraces. PhD Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. 39 pp.

Belay, G., Tesemma, T. & Mituku, D., 1993. Variability and correlation studies in durum wheat in Alem-Tena, Ethiopia. Rachis 12(1/2): 38–41.

Belay, G., Tesemma, T., Mituku, D., Badebo, A. & Bechere, E., 1997. Potential sources of resistance to stripe rust (Puccinia striiformis) in durum wheat. Rachis 16: 70–74.

Bellemare, M., 1993. Local colour in a traditional plant-extracting dye from red sorghum. [Internet] IDRC Reports 21(3). <http://archive.idrc.ca/books/reports/V213/colour.html>. Accessed March 2005.

Benabdelmouna, A., Abirached-Darmency, M. & Darmency, H., 2001. Phylogenetic and genomic relationships in Setaria italica and its close relatives based on the molecular diversity and chromosomal organization of 5S and 18S-5.8S-25S rDNA genes. Theoretical and Applied Genetics 103(5): 668–677.

Benabdelmouna, A., Shi, Y., Abirached-Darmency, M. & Darmency, H., 2001. Genomic in situ hybridization (GISH) discriminates between the A and B genomes in diploid and tetraploid Setaria species. Genome 44(4): 685–690.

Beninger, C.W. & Hosfield, G.L., 2003. Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions, and pure flavonoids from Phaseolus vulgaris L. seed coat color genotypes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51(27): 7879–7883.

Ben-Shahar, R., 1991. Selectivity in large generalist herbivores: feeding patterns of African ungulates in a semi-arid habitat. African Journal of Ecology 29(4): 302–315.

Berghofer, E. & Schoenlechner, R., 2002. Grain amaranth. In: Belton, P.S. & Taylor, J.R.N. (Editors). Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 219–260.

Berhane, L., Yitbarek, S. & Fekadu, A., 1995. Evaluation of Ethiopian landraces for disease and agronomic characters. Rachis 14(1–2): 21–25.

Berhaut, J., 1976. Flore illustrée du Sénégal. Dicotylédones. Volume 5. Légumineuses Papilionacées. Gouvernement du Sénégal, Ministère du Développement Rural et de l'Hydraulique. Direction des Eaux et Forêts, Dakar, Senegal. 658 pp.

Berhe, T., 1975. Breakthrough in tef breeding technique. FAO Information Bulletin, Cereal improvement and production, Near East project XII (3). FAO, Rome, Italy. pp. 11–23.

Beseth Nordeide, M., Holm, H. & Oshaug, A., 1994. Nutrient composition and protein quality of wild gathered foods from Mali. International Journal of Food Sciences and Nutrition 45(4): 275 286.

Bettencourt, E. & Konopka, J., 1990. Directory germplasm collections. Collection. 4: Vegetables Abelmoschus, Allium, Amaranthus, Brassicaceae, Capsicum, Cucurbitaceae, Lycopersicon, Solanum and other vegetables. IBPGR, Rome. Italy. 250 pp.

Bezançon, G., 1994. Le riz cultivé d'origine africaine Oryza glaberrima Steud. et les formes sauvages et adventices apparentées: diversité, relations génétiques et domestication. ORSTOM, Paris, France (Travaux et Documents Microédités No 115). 232 pp.

Bezançon, G., 1995. Riziculture traditionnelle en Afrique de l'Ouest: valorisation et conservation des ressources génétiques. Journal d'Agriculture Traditionelle et de Botanique Appliquée (JATBA) 37(2): 3–24.

Bezançon, G., Renno, J.-F. & Anand Kumar, K., 1997. Le mil. In: Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. & Nicolas, D. (Editors). L'amélioration des plantes tropicales. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) & Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Montpellier, France. pp. 457–482.

Bhandari, M.M., 1974. Famine foods in the Rajasthan desert. Economic Botany 28: 73–81.

Bhat, R.B., Etejere, E.O. & Oladipo, V.T., 1990. Ethnobotanical studies from Central Nigeria. Economic Botany 44(3): 382–390.

Biacs, P., Aubrecht, E., Léder, I. & Lajos, J., 2002. Buckwheat. In: Belton, P.S. & Taylor, J.R.N. (Editors). Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential. Springer Verlag, Berlin, Germany, pp. 123–151.

Bidinger, F.R. & Hash, C.T., 2004. Pearl millet. In: Nguyen, H.T. & Blum, A. (Editors). Physiology and biotechnology integration for plant breeding. Marcel Dekker. New York, United States. pp. 225–270.

Bisht, M.S. & Mukai, Y., 2002. Genome organization and polyploid evolution in the genus Eleusine (Poaceae). Plant Systematics and Evolution 233(3–4): 243–258.

Blackie, M.J., 1994. Maize productivity for the 21st Century: the African challenge. Outlook on Agriculture 23(3): 189–195.

Boerma, H.R. & Specht, J.E., 2004. Soybeans: improvement, production, and uses. 3rd Edition. Agronomy Series No 16. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America & Soil Science Society of America Publishers, Madison, Wisconsin, United States. 1144 pp.

Bogdan, A.V., 1977. Tropical pasture and fodder plants (grasses and legumes). Longman, London, United Kingdom. 475 pp.

Bohle, B., Hirt, W., Nachbargauer, P., Ebner, H. & Ebner, C., 2003. Allergy to millet: another risk for atopic bee keepers. Allergy 58: 324–328.

Bohra, S.P. & Sharma, I.K., 1981. Screening of desert plants for protease inhibitors IV. Legume Research 4(2): 100–102.

Bonamigo, L.A., 1999. Pearl millet crop in Brazil: implementation and development in the Cerrado Savannahs. In: Farias Neto, A.L., Amabile, R.F., Martins Netto, D.A., Yamashita, T. & Gocho, H. (Editors). International pearl millet workshop, Planaltina, Brazil, June 9–10, 1999. EMBRAPA, Planaltina, Brazil. pp. 31–66.

Bond, D.A., 1995. Faba bean. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 312–316.

Bond, D.A., Lawes, D.A., Hawtin, G.C., Saxena, M.C. & Stephens, J.H., 1985. Faba bean (Vicia faba L.). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 199–265.

Bonis Charancle, J.-M., 1994. Gestion des ressources naturelles: la régéneration des bourgoutières dans la boucle du Niger au Mali. Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux 47(4): 425–434.

Boonman, J.G., 1993. East African grasses and fodders: their ecology and husbandry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 343 pp.

Booth, F.E.M. & Wickens, G.E., 1988. Non-timber uses of selected arid zone trees and shrubs in Africa. FAO Conservation Guide No 19. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 176 pp.

Bosworth, S.C., Hoveland, C.S. & Buchanan, G.A., 1986. Forage quality of selected cool-season weed species. Weed Science 34(1): 150–154.

Botha, C.E.J., 1992. Plasmodesmatal distribution, structure and frequency in relation to assimilation in C_3 and C_4 grasses in southern Africa. Planta 187: 348–358.

Böttinger, P., Steinmetz, A., Schieder, O. & Pickardt, T., 2001. Agrobacterium-mediated transformation of Vicia faba. Molecular Breeding 8(3): 243–254.

Bouharmont, J., Olivier, M. & Dumont de Chassart, M., 1985. Cytological observations in some hybrids between the rice species of Oryza sativa L. and O. glaberrima Steud. Euphytica 34(1): 75–81.

Bouwman, L., 1979. Een onderzoek naar de groei en ontwikkeling van de Sahel grassen: Pennisetum pedicellatum, Eragrostis tremula, Loudetia togoensis, Cenchrus biflorus, aangevuld met: Aristida mutabilis, Cassia tora, Zornia glochidiata. Doctoraalverslag Rijksuniversiteit Utrecht. Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO), Wageningen, Netherlands. 91 pp.

Bowden, W.M., 1959. The taxonomy and nomenclature of the wheats, barleys, and ryes and their wild relatives. Canadian Journal of Botany 37: 657–684.

Bower, N., Hertel, K., Oh, J. & Storey, R., 1988. Nutritional evaluation of marama bean (Tylosema esculentum, Fabaceae): analysis of the seed. Economic Botany 42(4): 533–540.

Braun, H.J., Altay, F., Kronstad, W.E., Beniwal, S.P.S. & McNab, A. (Editors), 1997. Wheat: prospects for global improvement. Proceedings of the 5th international wheat conference, 10–14 June, 1996, Ankara, Turkey. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 582 pp.

Breman, H. & de Ridder, N., 1991. Manuel sur les pâturages des pays sahéliens. ACCT, Paris, France, CTA, Wageningen, Netherlands & Karthala, Paris, France. 485 pp.

Brenan, J.P.M., 1967. Leguminosae, subfamily Caesalpinioideae. In: Milne-Redhead, E. & Polhill, R.M. (Editors). Flora of Tropical East Africa. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. 230 pp.

Brenière, J., 1983. The principal insect pests of rice in West Tropical Africa and their control. West African Rice Development Association, Monrovia, Liberia. 87 pp.

Brenner, D.M., Baltensperger, D.D., Kulakow, P.A., Lehmann, J.W., Myers, R.L., Slabbert, M.M. & Sleugh, B.B., 2000. Genetic resources and breeding of Amaranthus. Plant Breeding Reviews 19: 227–285.

Briggs, D.E., 1978. Barley. Chapman & Hall, London, United Kingdom. 612 pp.

Brink, M., 1998. Matching crops and environments: quantifying photothermal influences on reproductive development in bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.). PhD thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 161 pp.

Brink, M., Collinson, S.T. & Wigglesworth, D.J., 1997. Characteristics of bambara groundnut cultivation in Botswana. In: Proceedings of the international bambara groundnut symposium, University of Nottingham, United Kingdom, 23–25 July 1996. University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom. pp. 133–142.

Broekaert, W.F., Mariën, W., Terras, F.R.G., De Bolle, M.F.C., Proost, P., Van Damme, J., Dillen, L., Claeys, M., Rees, S.B., Vanderleyden, J. & Cammue, B.P.A., 1992. Antimicrobial peptides from Amaranthus caudatus seeds with sequence homology to the cysteine/glycine-rich domain of chitin-binding proteins. Biochemistry 31: 4308–4314.

Brummitt, R.K. & Ross, J.H., 1976. A note on Tylosema (Leguminosae - Caesalpinioideae) from southern Africa. Kew Bulletin 31(2): 219–220.

Brummitt, R.K. & Ross, J.H., 1982. A new combination for an African Bauhinia (Leguminosae, Caesalpinioideae): Bauhinia petersiana subsp. macrantha. Kew Bulletin 37(2): 236.

Brunken, J., de Wet, J.M.J. & Harlan, J.R., 1977. The morphology and domestication of pearl millet. Economic Botany 31: 163–174.

Buddenhagen, I.W. & Bosque-Pérez, N.A., 1999. Historical overview of breeding for durable resistance to maize streak virus for tropical Africa. South African Journal of Plant and Soil 16(2): 106–111.

Buddenhagen, I.W. & Persley, G.J. (Editors), 1978. Rice in Africa. Academic Press, London, United Kingdom. 356 pp.

Bultosa, G., Hall, A.N. & Taylor, J.R.N., 2002. Physico-chemical characterization of grain tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) starch. Starch 54: 461–468.

Burgos, N.R. & Talbert, R.E., 2000. Differential activity of allelochemicals from Secale cereale in seedling bioassays. Weed Science 48: 302–310.

Burkill, H.M., 1985. The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 1, Families A–D. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 960 pp.

Burkill, H.M., 1994. The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 2, Families E–I. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 636 pp.

Burkill, H.M., 1995. The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 3, Families J–L. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 857 pp.

Burkill, H.M., 2000. The useful plants of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 5, Families S–Z, Addenda. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 686 pp.

Busson, F., 1965. Plantes alimentaires de l'ouest Africain: étude botanique, biologique et chimique. Leconte, Marseille, France. 568 pp.

Byerlee, D. & Eicher, C.K. (Editors), 1997. Africa's emerging maize revolution. Lynne Rienner Publishers, Boulder, Colorado, United States. 301 pp.

Byerlee, D. & Moya, P., 1993. Impacts of international wheat breeding research in the developing world, 1966–1990. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 87 pp.

Byth, D.E. (Editor), 1993. Sorghum and millets commodity and research environments. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru, India. 124 pp.

Cai, Y., Sun, M. & Corke, H., 1998. Colorant properties and stability of Amaranthus betacyanin pigments. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(11): 4491–4495.

Cai, Y., Sun, M., Wu, H., Huang, R. & Corke, H., 1998. Characterization and quantification of betacyanin pigments from diverse Amaranthus species. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(6): 2063–2070.

Campbell, C.G., 1997a. Buckwheat. Fagopyrum esculentum Moench. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops No 19. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 94 pp.

Campbell, C.G., 1997b. Grasspea (Lathyrus sativus L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops No 18. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany / International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 92 pp.

Campbell, C.G., Mehra, R.B., Agrawal, S.K., Chen, Y.Z., Abdel-Moneim, A.M., Khawaja, H.I.T., Yadov, C.R., Tay, J.U. & Araya, W.A., 1994. Current status and future strategy in breeding grasspea (Lathyrus sativus L.). Euphytica 73: 167–175.

Campion, B., 1995. 'Venere' and 'Alarico', new scarlet runner bean (Phaseolus coccineus L.) cultivars with determinate growth habit. HortScience 30(7): 1483–1484.

Cardenas, A., Nelson, L. & Neild, R., 1984. Phenological stages of proso millet. University of Nebraska, Lincoln, United States. 8 pp.

Carsky, R.J., Berner, D.K., Oyewole, B.D., Dashiell, K. & Schulz, S., 2000. Reduction of Striga hermonthica parasitism on maize using soybean rotation. International Journal of Pest Management 46(2): 115–120.

Castro, S., Silveira, P., Coutinho, A.P. & Figueiredo, E., 2005. Systematic studies in Tylosema (Leguminosae). Botanical Journal of the Linnean Society 147(1): 99–115.
Catling, D., 1992. Rice in deep water. The MacMillan Press Ltd., London, United Kingdom. 542 pp.
Catling, H.D. & Islam, Z., 1999. Pests of deepwater rice and their management. Integrated Pest Management Reviews 4: 193–229.
Ceccarelli, S. & Grando, S., 1996. Hordeum vulgare L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 99–102.
Chacon S., M.I., Pickersgill, B. & Debouck, D.G., 2005. Domestication patterns in common bean (Phaseolus vulgaris L.) and the origin of the Mesoamerican and Andean cultivated races. Theoretical and Applied Genetics 110(3): 432–444.
Chandel, K.P.S. & Singh, B.M., 1984. Some of our under-utilized plants. Indian Farming 34(2): 23–29.
Chang, H.C., Huang, Y.C. & Hung, W.-C., 2003. Antiproliferative and chemopreventive effects of adlay seed on lung cancer in vitro and in vivo. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 3656–3660.
Chang, S.W. & Hwang, B.K., 2002. Relationship of host genotype to Bipolaris leaf blight severities and yield components of adlay. Plant Disease 86(7): 774–779.
Chang, T.T., 1995. Rice. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 147–155.
Chang, T.T., 2000. Rice. In: Kiple, K.F. & Ornelas, K.C. (Editors). The Cambridge world history of food. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 132–149.
Chantereau, J., Trouche, G., Luce, C., Deu, M. & Hamon, P., 1997. Le sorgho. In: Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. & Nicolas, D. (Editors). L'amélioration des plantes tropicales. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) & Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Montpellier, France. pp. 565–590.
Chau, C.-F., Cheung, P.C.K. & Wong, Y.-S., 1998. Hypocholesterolemic effects of protein concentrates from three indigenous legume seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(9): 3698–3701.
Chevalier, A., 1950. Sur l'origine des Digitaria's cultivés. Revue Internationale de Botanique Appliquée & d'Agriculture Tropicale 30: 329–330.
Chiu, K.W. & Fung, A.Y.L., 1997. The cardiovascular effects of green beans (Phaseolus aureus), common rue (Ruta graveolens), and kelp (Laminaria japonica) in rats. General Pharmacology 29(5): 859–862.
Choudhury, A.T.M.A. & Kennedy, I.R., 2004. Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fertilization in sustainable rice production. Biology and Fertility of Soils 39(4): 219–227.
Choumane, W., Winter, P., Weigand, F. & Kahl, G., 2000. Conservation and variability of sequence-tagged microsatellite sites (STMSs) from chickpea (Cicer arietinum L.) within the genus Cicer. Theoretical and Applied Genetics 101(1–2): 269–278.
Chowdhury, M.A. & Slinkard, A.E., 2000. Genetic diversity in grasspea (Lathyrus sativus L.). Genetic Resources and Crop Evolution 47: 163–169.
CIAT, 2003. Bean improvement for the tropics. Project IP-1. Annual Report 2002. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
CIMMYT, 1985. Wheats for more tropical environments. A proceedings of the international symposium. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 354 pp.
Cissé, I.B., 1974–1975. La culture de fonio et quelques aspects écophysiologiques de la plante. Landbouwhogeschool, Wageningen, Netherlands. 72 pp.
Clavel, D., 2002. Biotechnologies et arachide. Oléagineux, Corps Gras, Lipides 9(4): 206–211.
Clavel, D. & Gautreau, J., 1997. L'arachide. In: Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. & Nicolas, D. (Editors). L'amélioration des plantes tropicales. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) & Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Montpellier, France. pp. 61–82.
Clayton, W.D., 1970. Gramineae (part 1). In: Milne-Redhead, E. & Polhill, R.M. (Editors). Flora of Tropical East Africa. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. 176 pp.

Clayton, W.D., 1972. Gramineae. In: Hepper, F.N. (Editor). Flora of West Tropical Africa. 2nd Edition. Volume 3, part 2. pp. 277–574.

Clayton, W.D., 1989. Gramineae (Paniceae, Isachneae and Arundinelleae). In: Launert, E. & Pope, G.V. (Editors). Flora Zambesiaca. Volume 10, part 3. Flora Zambesiaca Managing Committee, London, United Kingdom. 231 pp.

Clayton, W.D. & Renvoize, S.A., 1982. Gramineae (Part 3). In: Polhill, R.M. (Editor). Flora of Tropical East Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. pp. 451–898.

Clayton, W.D., Phillips, S.M. & Renvoize, S.A., 1974. Gramineae (part 2). In: Polhill, R.M. (Editor). Flora of Tropical East Africa. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. 273 pp.

Coates Palgrave, K., 1983. Trees of southern Africa. 2nd Edition. Struik Publishers, Cape Town, South Africa. 959 pp.

Coffman, F.A., 1977. Oat history, identification and classification. Technical Bulletin No 1516. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington D.C., United States. 356 pp.

Coffman, F.A. (Editor), 1961. Oats and oat improvement. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, United States. 650 pp.

Collinson, S.T., Clawson, E.J., Azam-Ali, S.N. & Black, C.R., 1997. Effects of soil moisture deficits on the water relations of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.). Journal of Experimental Botany 48(309): 877–884.

Coons, M.P., 1982. Relationships of Amaranthus caudatus. Economic Botany 36(2): 129–146.

Cope, T., 1999. Gramineae (Arundineae, Eragrostideae, Leptureae and Cynodonteae). In: Pope, G.V. (Editor). Flora Zambesiaca. Volume 10, part 2. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 261 pp.

Cope, T.A., 1995. Poaceae (Gramineae). In: Thulin, M. (Editor). Flora of Somalia. Volume 4. Angiospermae (Hydrocharitaceae-Pandanaceae). Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. pp. 148–270.

Costea, M., Sanders, A. & Waines, G., 2001. Preliminary results toward a revision of the Amaranthus hybridus species complex (Amaranthaceae). Sida, Contributions to Botany 19(4): 931–974.

Cousin, R., 1992. Le pois. In: Gallais, A. & Bannerot, H., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA Editions, Paris, France. pp. 173–188.

Cowling, W.A., Buirchell, B.J. & Tapia, M.E., 1998. Lupin. Lupinus L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 23. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gatersleben, Germany / International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy. 105 pp.

Croft, A.M., Pang, E.C.K. & Taylor, P.W.J., 1999. Molecular analysis of Lathyrus sativus L. (grasspea) and related Lathyrus species. Euphytica 107(3): 167–176.

Cruz, J.-F., 2004. Fonio: a small grain with potential. LEISA Magazine 20(1): 16–17.

CSIR, 1950. The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials and industrial products. Raw materials. Volume 2: C. Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India. 427 pp.

CSIR, 1966. The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials & industrial products. Raw materials. Volume 7: N–Pe. Publications and Information Directorate, Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India. 330 pp.

CSIR, 1969. The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials & industrial products. Raw materials. Volume 8: Ph–Re. Publications and Information Directorate, Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India. 394 pp.

CSIR, 1972. The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials & industrial products. Raw materials. Volume 9: Rh–So. Publications and Information Directorate, Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India. 472 pp.

CSIR, 1976. The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials & industrial products. Raw materials. Volume 10: Sp–W. Publications and Information Directorate, Council of Scientific and Industrial Research, New Delhi, India. 591 pp.

Curtis, J.D., Lersten, N.R. & Lewis, G.P., 1996. Leaf anatomy, emphasizing unusual 'concertina' mesophyll cells, of two East African legumes (Caesalpinieae, Caesalpinioideae, Leguminosae). Annals of Botany 78(1): 55–59.

Curtis, B.C., Rajaram, S. & Gómez Macpherson, H. (Editors), 2002. Bread wheat: improvement and production. Plant Production and Protection Series No 30. FAO, Rome, Italy. 554 pp.
Dadi, L., Teklewold, H., Aw-Hassan, A., Abdel Moneim, A.M. & Bejiga, G., 2003. The socio economic factors affecting grass pea consumption and the incidence of lathyrism in Ethiopia. Integrated Natural Resource Management: Technical Research Report Series, No 4. ICARDA, Aleppo, Syria. 55 pp.
Dahal, K.R. & van Valkenburg, J.L.C.H., 2003. Mucuna Adanson. In: Lemmens, R.H.M.J. & Bunyapraphatsara, N. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 12(3). Medicinal and poisonous plants 3. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 305–308.
Dakora, F.D. & Muofhe, L.M., 1997. Nitrogen fixation and nitrogen nutrition in symbiotic bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.) and Kersting's bean (Macrotyloma geocarpum (Harms) Marech. et Baud.). In: Heller, J., Begemann, F. & Mushonga, J. (Editors). Bambara groundnut. Vigna subterranea (L.) Verdc. Proceedings of the workshop on conservation and improvement of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.), 14–16 November 1995, Harare, Zimbabwe. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops No 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. pp. 72–77.
Dakora, F.D., Lawlor, D.W. & Sibuga, K.P., 1999. Assessment of symbiotic nitrogen nutrition in marama bean (Tylosema esculentum L.) a tuber-producing underutilized African grain legume. Symbiosis 27: 269–277.
Dalziel, J.M., 1926. African leather dyes. Kew Bulletin 1926: 225–238.
Dalziel, J.M., 1937. The useful plants of West Tropical Africa. Crown Agents for Overseas Governments and Administrations, London, United Kingdom. 612 pp.
Dana, S. & Karmakar, P.G., 1990. Species relation in Vigna subgenus Ceratotropis and its implication in breeding. Plant Breeding Reviews 8: 19–42.
Darwinkel, A., 1996. Secale cereale L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 123–127.
Darwinkel, A., 1999. Teelt van winterrogge. Teelthandleiding No 99. Praktijkstation voor de Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt (PAV), Lelystad, Netherlands. 42 pp.
Das, N.D. & Dana, S., 1987. Natural outcrossing in rice bean. Plant Breeding 98: 68–71.
Dashiell, K. & Fatokun, C., 1997. Soyabean. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 181–190.
Dashiell, K.E. & Akem, C.N., 1991. Yield losses in soybeans from frogeye leaf spot caused by Cercospora sojina. Crop Protection 10(6): 465–468.
Davie, O. & Gordon-Gray, K., 1977. Tropical African cultigens from Shangweni excavations. Natal Journal of Archaeological Sciences 4: 153–162.
Davies, D.R., 1989. Pisum sativum L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 63–64.
de Datta, S.K., 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley, New York, United States. 618 pp.
de Villiers, P.A. & Kok, O.B., 1988. Eto-ekologiese aspekte van olifante in die Nasionale Etoshawildtuin. Madoqua 15(4): 319–338.
de Vries, J. & Toenniessen, G., 2001. Securing the harvest: biotechnology, breeding and seed systems for African crops. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 224 pp.
de Waele, D. & Swanevelder, C.J., 2001. Groundnut. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 747–763.
de Wet, J.M.J., 1978. Systematics and evolution of Sorghum sect. Sorghum (Gramineae). American Journal of Botany 65(4): 477–484.
de Wet, J.M.J., 1995a. Finger millet. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman Scientific & Technical, Harlow, United Kingdom. pp. 137–140.
de Wet, J.M.J., 1995b. Foxtail millet. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 170–172.
de Wet, J.M.J., 1995c. Minor cereals. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 202–208.

de Wet, J.M.J., 1995d. Pearl millet. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman Scientific & Technical, Harlow, United Kingdom. pp. 156–159.

de Wet, J.M.J., 2000. Millets. In: Kiple, K.F. & Ornelas, K.C. (Editors). The Cambridge world history of food. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 113–121.

de Wet, J.M.J., Oestry-Stidd, L.L. & Cubero, J.I., 1979. Origins and evolution of foxtail millets (Setaria italica). Journal d'Agriculture Traditionnelle et de Botanique Appliquée 26: 53–64.

de Wet, J.M.J., Prasada Rao, K.E., Brink, D.E. & Mengesha, M.H., 1984. Systematics and evolution of Eleusine coracana (Gramineae). American Journal of Botany 71(4): 550–557.

Debouck, D.G. & Smartt, J., 1995. Beans. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 287–294.

Deckers, J., Yizengaw, T., Negeri, A. & Ketema, S., 2001. Teff. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Coöperation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Coöperation, Brussels, Belgium. pp. 96–101.

Dendy, D.A.V. (Editor), 1995. Sorghum and millets: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, United States. 406 pp.

Devi, P., Radha, P., Sitamahalakshmi, L., Syamala, D. & Kumar, S.M., 2004. Plant regeneration via somatic embryogenesis in mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek). Scientia Horticulturae 99(1): 1–8.

Dick, H., 1994. Burny bean - Mucuna gigantea. Australian Plants 17(138): 254, 256.

Dida, M.M., Gale, M.D. & Devos, K.M., 2001. Exploitation of grass comparative maps in the analysis of finger millet. In: Tefera, H., Belay, G. & Sorrells, M. (Editors). Narrowing the rift: research and development in tef. Proceedings of the international workshop on tef genetics and improvement, Debre Zeit, Ethiopia, 16–19 October 2000. EARO, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 267–274.

Dijkstra, J., Keesen, E., Brink, M., Peters, D. & Lohuis, H., 1995. Identification and characterisation of a potyvirus of bambara groundnut. African Crop Science Journal 4(1): 97–104.

Dikshit, H.K., Gupta, S., Gupta, S.R. & Singh, R.A., 2004. Variability and its characterization in Indian collections of blackgram (Vigna mungo (L.) Hepper). Plant Genetics Resources Newsletter 127: 20–24.

Dillen, W., de Clercq, J., Goossens, A., van Montagu, M. & Angenon, G., 1997. Agrobacterium mediated transformation of Phaseolus acutifolius A. Gray. Theoretical and Applied Genetics 94(2): 151–158.

Doggett, H., 1988. Sorghum. 2nd edition. Longman Scientific & Technical, London, United Kingdom. 512 pp.

Doggett, H., 1998. Small millets - a selective overview. In: Seetharam, A., Riley, K.W. & Harinarayana, G. (Editors). Small millets in global agriculture. Proceedings of the first international small millets workshop, Bangalore, India, October 29 – November 2, 1986. Aspect Publishing, London, United Kingdom. pp. 3–17.

Doku, E.V. & Karikari, S.K., 1971. Bambarra groundnut. Economic Botany 25: 255–262.

Dookun, A., 2001. Agricultural biotechnology in developing countries. Biotechnology Annual Review 7: 261–285.

Dougall, H.W., 1954. The composition of green oats for forage and ensilage. The East African Agricultural Journal 20: 118–119.

Douglas, N.J., 1974. Millets for grain and grazing. Queensland Agricultural Journal 100(10): 469–476.

Dowswell, C.R., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P., 1996. Maize in the third world. Westview Press, Boulder, Colorado, United States. 268 pp.

Drechsel, P., 1988. Die Bedeutung heimischer Gehölze in den Somalischen Weideländern am Beispiel von Cordeauxia edulis. Giessener Beiträge zur Entwicklungsforschung. Serie 1, 17: 125–131.

Drechsel, P. & Assefa, F., 1991. The relevance of native trees and shrubs in the Somalian rangelands, taking Cordeauxia edulis by way of example. Plant Research and Development 33: 73–79.

Drechsel, P. & Zech, W., 1988. Site conditions and nutrient status of Cordeauxia edulis (Caesalpiniaceae) in its natural habitat in Central Somalia. Economic Botany 42(2): 242–249.

Drzewiecki, J., 2001. Similarities and differences between Amaranthus species and cultivars and estimation of outcrossing rate on the basis of electrophoretic separations of urea-soluble seed proteins. Euphytica 119(3): 279–287.

du Pisani, L.G. & Knight, I.W., 1988. Preliminary evaluation of Sporobolus fimbriatus as planted pasture in the central Orange Free State (South Africa). Journal of the Grassland Society of Southern Africa 5(3): 125–129.

du Puy, D.J., Labat, J.N., Rabevohitra, R., Villiers, J.-F., Bosser, J. & Moat, J., 2002. The Leguminosae of Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 750 pp.

Dubois, M., Lognay, G., Baudart, E., Marlier, M., Severin, M., Dardenne, G. & Malaisse, F., 1995. Chemical characterisation of Tylosema fassoglensis (Kotschy) Torre and Hillc. oilseed. Journal of the Science of Food and Agriculture 67(2): 163–167.

Dubois, M., Malaisse, F., Buyck, B., Lognay, G., Severin, M. & Marlier, M., 1994. A propos de Tylosema fassoglensis (Kotschy) Torre et Hillc. : une plante méconnue. Cahiers Agricultures 3(5): 323–328.

Duke, J.A., 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press, New York, United States, and London, United Kingdom. 345 pp.

Durán, Y., Fratini, R., García, P. & Pérez de la Vega, M., 2004. An intersubspecific genetic map of Lens. Theoretical and Applied Genetics 108(7): 1265–1273.

Dvorak, J., Luo, M.-C., Yang, Z.-L. & Zhang, H.-B., 1998. The structure of the Aegilops tauschii genepool and the evolution of hexaploid wheat. Theoretical and Applied Genetics 97: 657–670.

Dwivedi, S.L., Crouch, J.H., Nigam, S.N., Ferguson, M.E. & Paterson, A.H., 2003. Molecular breeding of groundnut for enhanced productivity and food security in the semi-arid tropics: opportunities and challenges. Advances in Agronomy 80: 153–221.

Ebba, T., 1975. T'ef cultivars: morphology and classification. Part II. Agricultural Experiment Station Bulletin No 66. Addis Ababa University, Dire Dawa, Ethiopia. 73 pp.

Edwards, I.B., 1997. A global approach to wheat quality. In: Steele, J.L. & Chung, O.K. (Editors). Proceedings international wheat quality conference, May 18–22, 1997, Manhattan, Kansas, United States. Grain Industry Alliance, Manhattan, Kansas, United States. pp. 27–37.

Edwardson, S., 1996. Buckwheat: pseudocereal and nutraceutical. In: Janick, J. (Editor). Progress in new crops. Proceedings of the third national symposium new crops - new opportunities, new technologies, Indianapolis, Indiana, October 22–25, 1996. ASHS Press, Alexandria, Virginia, United States. pp. 195–207.

Ehlers, J.D., 1997. Cowpea (Vigna unguiculata). Field Crops Research 53(1–3): 187–204.

Eilittä, M., Bressani, R., Carew, L.B., Carsky, R.J., Flores, M., Gilbert, R., Huyck, L., St-Laurent, L. & Szabo, N.J., 2002. Mucuna as a food and feed crop: an overview. In: Flores, M., Eilittä, M., Myhrman, R., Carew, L.B. & Carsky, R.J. (Editors). Food and feed from Mucuna: current uses and the way forward. Proceedings of an international workshop. CIDICCO (International Cover Crops Clearinghouse), Tegucigalpa, Honduras. pp. 18–46.

Ellis, R.H., Lawn, R.J., Summerfield, R.J., Qi, A., Roberts, E.H., Chay, P.M., Brouwer, J.B., Rose, J.L., Yeates, S.J. & Sandover, S., 1994. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. IV. Cultivated and wild mung bean. Experimental Agriculture 30(1): 31–43.

Ellis, T.H.N. & Poyser, S.J., 2002. An integrated and comparative view of pea genetic and cytogenetic maps. New Phytologist 153(1): 17–25.

Elouafi, I. & Nachit, M.M., 2004. A genetic linkage map of the durum × Triticum dicoccoides backcross population based on SSRs and AFLP markers, and QTL analysis for milling traits. Theoretical and Applied Genetics 108(3): 401–413.

El-Zeany, B.A. & Gutale, S.F., 1982. The nutritional value of yeheb-nut (Cordeauxia edulis Hemsl.). Die Nahrung 26(9): 797–802.

Ene-Obong, H.N., 1995. Content of antinutrients and in vitro protein digestibility of the African yambean, pigeon and cowpea. Plant Foods for Human Nutrition 48: 225–233.

Engels, J.M.M., Hawkes, J.G. & Worede, M. (Editors), 1991. Plant genetic resources of Ethiopia. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 383 pp.

Enneking, D., 1995. The toxicity of Vicia species and their utilisation as grain legumes. 2nd Edition. Co-operative Research Centre for Legumes in Mediterranean Agriculture (CLIMA) Occasional publication No 6. University of Western Australia, Nedlands, Australia. 119 pp.

Erskine, W., 1997. Lessons for breeders from land races of lentil. Euphytica 93: 107–112.

Escalante, A.M., Coello, G., Eguiarte, L.E. & Piñero, D., 1994. Genetic structure and mating systems in wild and cultivated populations of Phaseolus coccineus and P. vulgaris (Fabaceae). American Journal of Botany 81(9): 1096–1103.

Eticha, F., Bekele, E., Belay, G. & Börner, A., 2005. Phenotypic diversity in tetraploid wheats collected from Bale and Wello regions of Ethiopia. Plant Genetic Resources 3(1): 35–43.

Eugster, C.H., 1967. Neue Blattfarbstoffe. Palette 27: 25–30.

Evenson, R.E. & Gollin, D. (Editors), 2003. Crop variety improvement and its effect on productivity: the impact of international agricultural research. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. 522 pp.

Ezedinma, F.O.C., 1973. Effects of defoliation and topping on semi-upright cowpeas (Vigna unguiculata (L.) Walp.) in a humid tropical environment. Experimental Agriculture 9(3): 203–207.

Ezueh, M.I., 1977. The cultivation and utilization of minor food legumes in Nigeria. Tropical Grain Legume Bulletin 10: 28–32.

Faigón Soverna, A., Galati, B. & Hoc, P., 2003. Study of ovule and megagametophyte development in four species of subtribe Phaseolinae (Leguminosae). Acta Biologica Cracoviensia (Series Botanica) 45(2): 63–73.

FAO, 1970. Amino-acid content of foods and biological data on proteins. FAO Nutrition Studies No 24. Rome, Italy. 285 pp.

FAO, 1989. Utilization of tropical foods: tropical beans. Compendium on technological and nutritional aspects of processing and utilization of tropical foods, both animal and plant, for purposes of training and field reference. FAO Food and Nutrition paper 47/4. FAO, Rome, Italy. 74 pp.

FAO, 1995. Sorghum and millets in human nutrition. FAO food and nutrition series No 27. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 184 pp.

FAO, 1998. The state of the world's plant genetic resources for food and agriculture. Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 510 pp.

FAO, undated. Grassland Index. [Internet]. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Default.htm>. Accessed January - July 2005.

Feldman, M., Lupton, F.G.H. & Miller, T.E., 1995. Wheats. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 184 192.

Ferguson, M.E., Maxted, N., van Slageren, M. & Robertson, L.D., 2000. A re-assessment of the taxonomy of Lens Mill. (Leguminosae, Papilionoideae, Vicieae). Botanical Journal of the Linnean Society 133: 41–59.

Feyissa, F., 2004. Evaluation of potential forage production qualities of selected oats (Avena sativa L.) varieties. MSc thesis. The School of Graduate Studies of Alemaya University, Ethiopia. 150 pp.

Flandez-Galvez, H., Ford, R., Pang, E.C.K. & Taylor, P.W.J., 2003. An intraspecific linkage map of the chickpea (Cicer arietinum L.) genome based on sequence tagged microsatellite site and resistance gene analog markers. Theoretical and Applied Genetics 106(8): 1447–1456.

Fofana, B., Baudoin, J.P., Vekemans, X., Debouck, D.G. & du Jardin, P., 1999. Molecular evidence for an Andean origin and a secondary gene pool for the Lima bean (Phaseolus lunatus L.) using chloroplast DNA. Theoretical and Applied Genetics 98(2): 202–212.

Fofana, B., du Jardin, P. & Baudoin, J.P., 2001. Genetic diversity in the Lima bean (Phaseolus lunatus L.) as revealed by chloroplast DNA (cpDNA) variations. Genetic Resources and Crop Evolution 48(5): 437–445.

Fort, D.M., Jolad, S.D. & Nelson, S.T., 2001. Lithospermoside from Bauhinia fassoglensis (Fabaceae). Biochemical Systematics and Ecology 29: 439–441.

Fourie, D., 1998. Characterization of halo blight races on dry beans in South Africa. Plant Disease 82(3): 307–310.

Francis, C.M. & Campbell, M.C., 2003. New high quality oil seed crops for temperate and tropical Australia. Rural Industries Research & Development Corporation Publication No 03/045. RIRDC, Canberra, Australia. 27 pp.

François, J., Rivas, A. & Compère, R., 1989. Le pâturage semi-aquatique à Echinochloa stagnina (Retz.) P.Beauv. Etude approfondie de la plante 'bourgou' et des bourgoutières situées en zone lacustre du Mali. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux 24(2): 145–189.

François, J., Rivas, A., Hellemans, P. & Compere, R., 1991. Régeneration des bourgoutières en zone lacustre du Mali par semis en décrue, technique basée sur des études agrométéorologiques et écophysiologiques. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux 26(1): 169–181.

Frederiksen, S. & Petersen, G., 1998. A taxonomic revision of Secale (Triticeae, Poaceae). Nordic Journal of Botany 18(4): 399–420.

Freedman, R., undated. Famine foods. Poaceae. [Internet]. Purdue University, West Lafayette, Indiana, United States. <http://www.hort.purdue.edu/newcrop/FamineFoods/ff_families/POACEAE.html>. Accessed July 2005.

Frey, K., 1998. Genetic responses of oats genotypes to environmental factors. Field Crops Research 56(1–2): 183–185.

Freytag, G. & Debouck, D.G., 2002. Taxonomy, distribution and ecology of the genus Phaseolus (Leguminosae - Papilionoideae) in North America, Mexico and Central America. Botanical Institute of Texas, Fort Worth, Texas, United States. 300 pp.

Friedmann, F., 1994. Flore des Seychelles: Dicotylédones. Editions de l'ORSTOM, Paris, France. 663 pp.

Fröman, B. & Persson, S., 1974. An illustrated guide to the grasses of Ethiopia. CADU (Chilalo Agricultural Development Unit), Asella, Ethiopia. 504 pp.

Froment, D. & Renard, C., 2001. Fonio. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 16–22.

Fukushima, M., Ohashi, T., Kojima, M., Ohba, K., Shimizu, H., Sonoyama, K. & Nakano, M., 2001. Low density lipoprotein receptor mRNA in rat liver is affected by resistant starch of beans. Lipids 36(2): 129–134.

Gao, Z., Jayaraj, J., Muthukrishnan, S., Claflin, L. & Liang, G.H., 2005. Efficient genetic transformation of Sorghum using a visual screening marker. Genome 48(2): 321–333.

Garimella, T.S., Jolly, C.I. & Narayanan, S., 2001. In vitro studies on antilithiatic activity of seeds of Dolichos biflorus Linn. and rhizomes of Bergenia ligulata Wall. Phytotherapy Research 15(4): 351–355.

Garvin, D.F. & Weeden, N.F., 1994. Isozyme evidence supporting a single geographic origin for domesticated tepary bean. Crop Science 34(5): 1390–1395.

Gashawbeza, B., Yaekob, A., Zemede, A., Kifetew, J. & Tadesse, T., 2003. Fertilizer N effects on yield and grain quality of durum wheat. Tropical Agriculture (Trinidad) 80(3): 146–151.

Gast, M., 2000. Moissons du désert: utilisation des ressources naturelles en période de famine au Sahara central. Ibi Press, Paris, France. 160 pp.

Gebre, H. & van Leur, J. (Editors), 1996. Barley research in Ethiopia: past work and future prospects. Proceedings of the first barley research review workshop, 16–19 October 1993, Addis Ababa, Ethiopia. Institute of Agricultural research, Addis Ababa, Ethiopia & International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. 195 pp.

Gebrehiwot, L., 1981. Summary of oats research undertaken by the Institute of Agricultural Research (IAR). IAR Pasture and Forage Bulletin No 2. IAR, Addis Ababa, Ethiopia. 11 pp.

Gebre-Mariam, H., Tanner, D.G. & Hulluka, M. (Editors), 1991. Wheat research in Ethiopia: a historical perspective. Institute of Agricultural Research, Addis Ababa, Ethiopia / International Maize and Wheat Improvement Center, Addis Ababa, Ethiopia. 392 pp.

Gelfand, M., Mavi, S., Drummond, R.B. & Ndemera, B., 1985. The traditional medical practitioner in Zimbabwe: his principles of practice and pharmacopoeia. Mambo Press, Gweru, Zimbabwe. 411 pp.

Gepts, P. (Editor), 1988. Genetic resources of Phaseolus beans: their maintenance, domestication, evolution, and utilization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 613 pp.

Gepts, P. & Debouck, D., 1991. Origin, domestication, and evolution of the common bean. In: van Schoonhoven, A. & Voysest, O. (Editors). Common beans: research for improvement. CIAT, Cali, Colombia and CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 7–54.

Getahun, A., 1976. Some common medicinal and poisonous plants used in Ethiopian folk medecine. Faculty of Science, Addis Ababa University, Addis Abeba, Ethiopia. 63 pp.

Getahun, H., Lambein, F. & Vanhoorne, M., 2002. Neurolathyrism in Ethiopia: assessment and comparison of knowledge and attitude of health workers and rural inhabitants. Social Science & Medicine 54: 1513–1524.

Getahun, H., Lambein, F., Vanhoorne, M. & van der Stuyft, P., 2002. Pattern and associated factors of the neurolathyrism epidemic in Ethiopia. Tropical Medicine and International Health 7(2): 118–124.

Ghafoor, A., Sharif, A., Ahmad, Z., Zahid, M.A. & Rabbani, M.A., 2001. Genetic diversity in blackgram (Vigna mungo (L.) Hepper). Field Crops Research 69: 183–190.

Ghizaw, A., Mamo, T., Yilma, Z., Molla, A. & Ashagre, Y., 1999. Nitrogen and phosphorus effects on faba bean seed yield and some yield components. Journal of Agronomy and Crop Science 182: 167–174.

Gibberd, V., 1996. Significance of planting date and choice of crop variety for food crop security in Kenya's semi-arid areas. Tropical Science 36: 101–108.

Gibbs Russell, G.E., Watson, L., Koekemoer, M., Smook, L., Barker, N.P., Anderson, H.M. & Dallwitz, M.J., 1990. Grasses of Southern Africa: an identification manual with keys, descriptions, distributions, classification and automated identification and information retrieval from computerized data. Memoirs of the Botanical Survey of South Africa No 58. National Botanic Gardens / Botanical Research Institute, Pretoria, South Africa. 437 pp.

Gibson, L. & Benson, G., 2002. Origin, history, and uses of oat (Avena sativa) and wheat (Triticum aestivum). [Internet] <http://www.agron.iastate.edu/courses/agron212/Readings/Oat_wheat_history.htm>. Accessed August 2004.

Gilbert, M.G., 2000. Molluginaceae. In: Edwards, S., Mesfin Tadesse, Demissew Sebsebe & Hedberg, I. (Editors). Flora of Ethiopia and Eritrea. Volume 2, part 1. Magnoliaceae to Flacourtiaceae. The National Herbarium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia and Department of Systematic Botany, Uppsala University, Uppsala, Sweden. pp. 229–237.

Giller, K.E., 2001. Nitrogen fixation in tropical cropping systems. 2nd Edition. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 423 pp.

Gillett, J.B., 1966. Notes on Leguminosae. Kew Bulletin 20: 103–111.

Gillett, J.B., Polhill, R.M., Verdcourt, B., Schubert, B.G., Milne-Redhead, E., & Brummitt, R.K., 1971. Leguminosae (Parts 3–4), subfamily Papilionoideae (1–2). In: Milne-Redhead, E. & Polhill, R.M. (Editors). Flora of Tropical East Africa. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. 1108 pp.

Gladstones, J.S., Atkins, C.A. & Hamblin, J. (Editors), 1998. Lupins as crop plants: biology, production and utilization. CAB International, Oxon, United Kingdom. 465 pp.

Goel, S., Raina, S.N. & Ogihara, Y., 2002. Molecular evolution and phylogenetic implications of internal transcribed spacer sequences of nuclear ribosomal DNA in the Phaseolus-Vigna complex. Molecular Phylogenetics and Evolution 22(1): 1–19.

Goli, A.E., 1997. Germplasm-collecting missions in Africa in the 1980s. Plant Genetic Resources Newsletter 111: 1–18.

Gopinathan, M.C., Babu, C.R. & Shivanna, K.R., 1986. Interspecific hybridization between rice bean (Vigna umbellata) and its wild relative (Vigna minima): fertility–sterility relationships. Euphytica 35(3): 1017–1022.

Graham, P.H. & Ranalli, P., 1997. Common bean (Phaseolus vulgaris L.). Field Crops Research 53: 131–146.

Graham, P.H. & Vance, C.P., 2003. Legumes: importance and constraints to greater use. Plant Physiology 131: 872–877.

Greenway, P.J., 1947. Yeheb. The East African Agricultural Journal 12: 216–219.

Griga, M., 2002. Morphology and anatomy of Pisum sativum somatic embryos. Biologia Plantarum 45(2): 173–182.

Grist, D.H., 1986. Rice. 6th Edition. Longman, London, United Kingdom. 599 pp.

Grobbelaar, N. & Clarke, B., 1975. A qualitative study of the nodulating ability of legume species: list 3. Journal of South African Botany 41(1): 29–36.

Grubben, G.J.H., 1975. La culture de l'amarante, légume-feuilles tropical, avec référence spéciale au Sud-Dahomey. Mededelingen Landbouwhogeschool Wageningen 75–6. Wageningen, Netherlands. 223 pp.

Grubben, G.J.H., 1993. Vigna unguiculata (L.) Walp. cv. group Sesquipedalis. In: Siemonsma, J.S. & Kasem Piluek (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 8. Vegetables. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, Netherlands. pp. 274–278.

Grubben, G.J.H. & Siemonsma, J.S., 1996. Fagopyrum esculentum Moench. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 95–99.

Guei, R.G., Adam, A. & Traoré, K., 2002. Comparative studies of seed dormancy characteristics of two Oryza species and their progenies. Seed Science and Technology 30(3): 499–505.

Gulati, A., Schryer, P. & McHughen, A., 2002. Production of fertile transgenic lentil (Lens culinaris Medik.) plants using particle bombardment. In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant 38: 316–324.

Gumerova, E.A., Galeeva, E.I., Chuyenkova, S.A. & Rumyantseva, N.I., 2003. Somatic embryogenesis and bud formation on cultured Fagopyrum esculentum hypocotyls. Russian Journal of Plant Physiology 50(5): 640–645.

Gurib-Fakim, A., Guého, J. & Bissoondoyal, M.D., 1997. Plantes médicinales de Maurice, tome 3. Editions de l'Océan Indien, Rose-Hill, Mauritius. 471 pp.

Gutterman, Y., Corbineau, F. & Côme, D., 1992. Interrelated effects of temperature, light and oxygen on Amaranthus caudatus L. seed germination. Weed Research 32(2): 111–117.

Hafeez, F.Y., Asad, S. & Malik, K.A., 1991. The effect of high temperature on Vigna radiata nodulation and growth with different bradyrhizobial strains. Environmental and Experimental Botany 31(3): 285–294.

Hall, A.E. & Coyne, D. (Editors), 2003. Research highlights of the Bean/Cowpea Collaborative Research Support Program 1981–2002. Field Crops Research 82(2–3). Special Issue. 242 pp.

Hall, A.E., Cisse, N., Thiaw, S., Elawad, H.O.A., Ehlers, J.D., Ismail, A.M., Fery, R.L., Roberts, P.A., Kitch, L.W., Murdock, L.L., Boukar, O., Phillips, R.D. & McWatters, K.H., 2003. Development of cowpea cultivars and germplasm by the Bean/Cowpea CRSP. Field Crops Research 82(2–3): 103–134.

Han, K.-H., Fukushima, M., Kato, T., Kojima, M., Ohba, K., Shimada, K., Sekikawa, M. & Nakano, M., 2003. Enzyme-resistant fractions of beans lowered serum cholesterol and increased sterol excretions and hepatic mRNA levels in rats. Lipids 38(9): 919–924.

Han, K.-H., Fukushima, M., Ohba, K., Shimada, K., Sekikawa, M., Chiji, H., Lee, C.-H. & Nakano, M., 2004. Hepatoprotective effects of the water extract from adzuki bean hulls on acetaminophen-induced damage in rat liver. Journal of Nutritional Science and Vitaminology 50(5): 380–383.

Hanbury, C.D., White, C.L., Mullan, B.P. & Siddique, K.H.M., 2000. A review of the potential of Lathyrus sativus L. and L. cicera L. grain for use as animal feed. Animal Feed Science and Technology 87: 1–27.

Hanelt, P. & Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (Editors), 2001. Mansfeld's encyclopedia of agricultural and horticultural crops (except ornamentals). 1st English edition. Springer Verlag, Berlin, Germany. 3645 pp.

Hanson, H., Borlaug, N.E. & Anderson, R.G., 1982. Wheat in the Third World. Westview Press, Boulder, Colorado, United States. 174 pp.

Hao Gang, Zhang, D.X., Zhang, M.Y., Guo, L.X. & Li, S.J., 2003. Phylogenetics of Bauhinia subgenus Phanera (Leguminosae: Caesalpinioideae) based on ITS sequences of nuclear ribosomal DNA. Botanical Bulletin of Academia Sinica Taipei 44(3): 223–228.

Haq, N., 1989. Crop plants: potential for food and industry. In: Wickens, G.E., Haq, N. & Day, P. (Editors). New crops for food and industry. Chapman and Hall, London, United Kingdom. pp. 246–256.

Haq, N., 1993. Lupins (Lupinus species). In: Williams, J.T. (Editor). Pulses and vegetables. Chapman and Hall, London, United Kingdom. pp. 103–130.

Haq, N. & Dania Ogbe, F., 1995. Fonio (Digitaria exilis and D. iburua). In: Williams, J.T. (Editor). Cereals and pseudocereals. Chapman and Hall, London, United Kingdom. pp. 225–245.

Harlan, J.R., 1989a. The tropical African cereals. In: Harris, D.R. & Hillman, G.C. (Editors). Foraging and farming: the evolution of plant exploitation. Unwin Hyman, London, United Kingdom. pp. 335–343.

Harlan, J.R., 1989b. Wild grass seed harvesting in the Sahara and sub Sahara of Africa. In: Harris, D.R. & Hillman, G.C. (Editors). Foraging and farming: the evolution of plant exploitation. Unwin Hyman, London, United Kingdom. pp. 79–98.

Harlan, J.R., 1993. Genetic resources in Africa. In: Janick, J. & Simon, J.E. (Editors). New crops. Wiley, New York, United States. p. 65.

Harlan, J.R., 1995. Barley. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 140–147.

Harlan, J.R. & de Wet, J.M.J., 1972. A simplified classification of cultivated sorghum. Crop Science 12: 172–176.

Harlan, J.R., de Wet, J.M.J. & Stemler, A.B.L., 1976. Plant domestication and indigenous African agriculture. In: Harlan, J.R., de Wet, J.M.J. & Stemler, A.B.L. (Editors). Origins of African plant domestication. Mouton Publishers, The Hague, Netherlands. pp. 3–19.

Haroun, S.A., 2000. Altitudinal effects on cytogenetics and breeding of Panicum turgidum Forssk. Cytologia 65(3): 225–230.

Hartley, M.L., Tshamekeng, E. & Thomas, S.M., 2002. Functional heterostyly in Tylosema esculentum (Caesalpinioideae). Annals of Botany 89: 67–76.

Hash, C.T., Schaffert, R.E. & Peacock, J.M., 2002. Prospects for using conventional techniques and molecular biological tools to enhance performance of 'orphan' crop plants on soils low in available phosphorus. Plant and Soil 245: 135–146.

Hauman, L., 1951. Amaranthaceae. In: Robyns, W., Staner, P., Demaret, F., Germain, R., Gilbert, G., Hauman, L., Homès, M., Jurion, F., Lebrun, J., Vanden Abeele, M. & Boutique, R. (Editors). Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Spermatophytes. Volume 2. Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge, Brussels, Belgium. pp. 12–81.

Hauman, L., Cronquist, A., Boutique, R., Majot-Rochez, R., Duvigneaud, P., Robyns, W. & Wilczek, R., 1954a. Papilionaceae (troisième partie). In: Robyns, W., Staner, P., Demaret, F., Germain, R., Gilbert, G., Hauman, L., Homès, M., Jurion, F., Lebrun, J., Vanden Abeele, M. & Boutique, R. (Editors). Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Spermatophytes. Volume 6. Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge, Brussels, Belgium. 426 pp.

Hauman, L., Cronquist, A., Léonard, J., Schubert, B., Duvigneaud, P. & Dewit, J., 1954b. Papilionaceae (deuxième partie). In: Robyns, W., Staner, P., Demaret, F., Germain, R., Gilbert, G., Hauman, L., Homès, M., Jurion, F., Lebrun, J., Vanden Abeele, M. & Boutique, R. (Editors). Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Spermatophytes. Volume 5. Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge, Brussels, Belgium. 377 pp.

Haware, M.P., 1998. Diseases of chickpea. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 473–516.

Hawtin, G. & Webb, C. (Editors), 1982. Faba bean improvement. Proceedings of the faba bean conference held in Cairo, Egypt, March 7–11, 1981. Martinus Nijhoff Publishers, the Hague, Netherlands. 398 pp.

Hawtin, G.C. & Chancellor, G.J. (Editors), 1979. Food legume improvement and development. Proceedings of a workshop held at the University of Aleppo, Syria, 2–7 May, 1978. International Development Research Centre, Ottawa, Canada. 216 pp.

Haytowitz, D.B. & Matthews, R.H., 1986. Composition of foods: legumes and legume products. Agriculture Handbook No 8–16. United States Department of Agriculture, Washington, D. C. , United States. 156 pp.

Hebblethwaite, P.D. (Editor), 1983. The faba bean (Vicia faba L.): a basis for improvement. Butterworths, London, United Kingdom. 573 pp.

Hebblethwaite, P.D., Heath, M.C. & Dawkins, T.C.K., 1985. The pea crop: a basis for improvement. Proceedings of the university of Nottingham 40th Easter school in agricultural science, held at Sutton Bonington from 2–6 April 1984. Butterworths, London, United Kingdom. 486 pp.

Hedberg, I., 1979. Systematic botany, plant utilization and biosphere conservation. Proceedings of a symposium held in Uppsala in commemoration of the 500th anniversary of the university. Almqvist & Wiksell International, Stockholm, Sweden. 157 pp.

Hedberg, O., 2000. Polygonaceae. In: Edwards, S., Mesfin Tadesse, Demissew Sebsebe & Hedberg, I. (Editors). Flora of Ethiopia and Eritrea. Volume 2, part 1. Magnoliaceae to Flacourtiaceae. The National Herbarium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia and Department of Systematic Botany, Uppsala University, Uppsala, Sweden. pp. 336–347.

Hegi, G., 1906. Illustrierte Flora von Mittel-europa. Band 1. Pteridophyta, Gymnospermae und Monocotyledones. Verlag J.F. Lehmann, München, Germany. 411 pp.

Heisey, P.W. & Lantican, M.A., 1999. International wheat breeding research in eastern and southern Africa. In: CIMMYT. The tenth regional wheat workshop for eastern, central and southern Africa. CIMMYT, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 441–456.

Heller, J., Begemann, F. & Mushonga, J. (Editors), 1997. Bambara groundnut. Vigna subterranea (L.) Verdc. Proceedings of the workshop on conservation and improvement of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.), 14–16 November 1995, Harare, Zimbabwe. Promoting the con-

servation and use of underutilized and neglected crops No 9. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 166 pp.

Henrard, J.Th., 1950. Monograph of the genus Digitaria. Universitaire Pers, Leiden, Netherlands. 999 pp.

Hepper, F.N., 1958. Papilionaceae. In: Keay, R.W.J. (Editor). Flora of West Tropical Africa. Volume 1, part 2. 2nd Edition. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. pp. 505–587.

Hepper, F.N., 1963. Plants of the 1957–58 West African expedition: 2. The bambara groundnut (Voandzeia subterranea) and Kersting's groundnut (Kerstingiella geocarpa) wild in West Africa. Kew Bulletin 16: 395–407.

Heuer, S., Miézan, K.M., Sié, M. & Gaye, S., 2003. Increasing biodiversity of irrigated rice in Africa by interspecific crossing of Oryza glaberrima (Steud.) × O. sativa indica (L.). Euphytica 132(1): 31–40.

Heyene, E.C. (Editor), 2002. Wheat and wheat improvement. 2nd Edition. American Society of Agronomy (ASA), Crop Science Society of America (CSSA), Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, United States. 765 pp.

Hidalgo, R., 1991. CIAT's world Phaseolus collection. In: van Schoonhoven, A. & Voysest, O. (Editors). Common beans: research for improvement. CIAT, Cali, Colombia and CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 163–198.

Hidalgo, R. & Beebe, S., 1997. Phaseolus beans. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 139–155.

Hill, G.D., 1998. Diseases of lupins. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 559–589.

Hillocks, R.J., Minja, E., Mwaga, A., Silim Nahdy, M. & Subrahmanyam, P., 2000. Diseases and pests of pigeonpea in eastern Africa: a review. International Journal of Pest Management 46(1): 7–18.

Hilu, K.W. & de Wet, J.M.J., 1976a. Domestication of Eleusine coracana. Economic Botany 30: 199–208.

Hilu, K.W. & de Wet, J.M.J., 1976b. Racial evolution in Eleusine coracana ssp. coracana (finger millet). American Journal of Botany 63(10): 1311–1318.

Hilu, K.W. & Johnson, J.L., 1997. Systematics of Eleusine Gaertn. (Poaceae: Chloridoideae): chloroplast DNA and total evidence. Annals of the Missouri Botanical Garden 84: 841–847.

Hilu, K.W., de Wet, J.M.J. & Harlan, J.R., 1979. Archaeobotanical studies of Eleusine coracana ssp. coracana (finger millet). American Journal of Botany 66(3): 330–333.

Hilu, K.W., M'Ribu, K., Liang, H. & Mandelbaum, C., 1997. Fonio millets: ethnobotany, genetic diversity and evolution. South African Journal of Botany 63(4): 185–190.

Hockett, E.A., 2000. Barley. In: Kulp, K. & Ponte, J.G. (Editors). Handbook of cereal science and technology. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, United States. pp. 81–125.

Holland, B., Unwin, I.D. & Buss, D.H., 1988. Cereals and cereal products. The third supplement to McCance & Widdowson's The Composition of Foods. 4th Edition. Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom. 147 pp.

Holland, B., Unwin, I.D. & Buss, D.H., 1991. Vegetables, herbs and spices. The fifth supplement to McCance & Widdowson's The Composition of Foods. 4th Edition. Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom. 163 pp.

Holm, L., Pancho, J.V. & Herberger, J.P., 1979. A geographical atlas of world weeds. John Wiley & Sons, New York, United States. 391 pp.

Hoover, R., Smith, C., Zhou, Y. & Ratnayake, R.M.W.S., 2003. Physicochemical properties of Canadian oat starches. Carbohydrate Polymers 52(3): 253–261.

Hornetz, B., 1993. On the development and acceptance of agropastoral (agrosilvipastoral) systems in the semiarid areas of northern Kenya. In: Baum, E., Wolff, P. & Zöbisch, M.A. (Editors). Acceptance of soil and water conservation strategies and technologies. Topics in applied resource management in the tropics. Volume 3. pp. 413–453.

Hsu, H.-Y., Lin, B.-F., Lin, J.Y., Kuo, C.-C. & Chiang, W., 2003. Suppression of allergic reactions by dehulled adlay in association with the balance of Th1/Th2 cell responses. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51: 3763–3769.

Hu, T., Metz, S., Chay, C., Zhou, H.P., Biest, N., Chen, G., Cheng, M., Feng, X., Radionenko, M., Lu, F. & Fry, J., 2003. Agrobacterium-mediated large-scale transformation of wheat (Triticum aestivum L.) using glyphosate selection. Plant Cell Reports 21(10): 1010–1019.

Huijie, Z., Ninghui, L., Xuzhen, C. & Weinberger, K., 2003. The impact of mungbean research in China. AVRDC Publication No 03–550, Working Paper No 14. Asian Vegetable Research and Development Centre, Shanhua, Taiwan. 26 pp.

Hulse, J.H., Laing, E.M. & Pearson, O.E., 1980. Sorghum and the millets: their composition and nutritive value. Academic Press, London, United Kingdom. 997 pp.

Hume, D.J., Shanmugasundaram, S. & Beversdorf, W.D., 1985. Soybean (Glycine max (L.) Merrill). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 391–432.

Husaini, S.W.H. & Gill, L.S., 1985. Cytomorphological studies of the genus Crotalaria L. (Leguminosae) from Nigeria. Boletim da Sociedade Broteriana, Série 2, 58(2): 149–172.

Hussaini, S.H., Goodman, M.M. & Timothy, D.H., 1977. Multivariate analysis and the geographic distribution of the world collection of finger millet. Crop Science 17: 257–263.

Huxham, S.K., Schrire, B.D., Davis, S.D, & Prendergast, H.D.V., 1998. Dryland legumes in Africa: food for thought. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 84 pp.

Huyghe, C., 1997. White lupin (Lupinus albus L.). Field Crops Research 53: 147–160.

Hymowitz, T., 1995. Soybean. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 261–266.

ICARDA, 2002. Annual report 2001. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA), Aleppo, Syria. 112 pp.

ICRISAT, undated. Legumes suitable for rice-fallows and their biotic constraints. [Internet] <http://www.icrisat.org/ text/research/nrmp/dfid/text/india/legumes.html> Accessed September 2005.

ICRISAT & FAO, 1996. The world sorghum and millet economies: facts, trends and outlook. ICRISAT, Patancheru, India & FAO, Rome, Italy. 68 pp.

Idouraine, A., Tinsley, A.M. & Weber, C.W., 1989. Nutritional quality and sensory acceptability of akara prepared from germinated tepary beans. Journal of Food Science 54(1): 114–117.

Idouraine, A., Weber, C.W. & Kohlhepp, E.A., 1995. Composition of tepary bean (Phaseolus acutifolius) of the southwestern US and northern Mexico. Ecology of Food and Nutrition 33(3): 139–147.

IITA (International Institute of Tropical Agriculture), 1992. Sustainable food production in sub Saharan Africa. 1. IITA's contribution. IITA, Ibadan, Nigeria. 195 pp.

ILDIS, 2002. World database of Legumes, Version 6,05. International Legume Database & Information Service. [Internet] <http://biodiversity.soton.ac.uk/LegumeWeb>. Accessed October 2003 - November 2004.

ILDIS, 2005. World database of Legumes, Version 9,00. International Legume Database & Information Service. [Internet] <http://biodiversity.soton.ac.uk/LegumeWeb>. Accessed June - September 2005.

Ingram, A.L. & Doyle, J.J., 2003. The origin and evolution of Eragrostis tef (Poaceae) and related polyploids: evidence from nuclear waxy and plastid rps16. American Journal of Botany 90(1): 116–122.

INRA, 2000. Base Nationale Pois INRA/GSP (2000). [Internet] <http://www.inra.fr/legumineuses/pois/pois.htm>. Accessed November 2003.

International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), undated. Agroforestree Database. [Internet] World Agroforestry Centre, Nairobi, Kenya. <http://www.worldagroforestrycentre.org/Sites/TreeDBS/AFT/AFT.htm>. Accessed March 2003.

IPGRI, undated. Directory of Germplasm Collections. [Internet] <http://www.ipgri.cgiar.org>. Accessed April 2004 - May 2005.

Irvine, F.R., 1969. West African agriculture, 3rd Edition. Volume 2: West African Crops. Oxford University Press, London, United Kingdom. 272 pp.

Isleib, T.G. & Wynne, J.C., 1992. Use of plant introductions in plant improvement. In: Shads, H.L. & Weiser, L.E. (Editors). Use of plant introductions in cultivar development. Part 2. CSSA Special Publication No 20. Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, United States. pp. 77–116.

Itoh, T., Kita, N., Kurokawa, Y., Kobayashi, M., Horio, F. & Furuichi, Y., 2004. Suppressive effect of a hot water extract of adzuki beans (Vigna angularis) on hyperglycemia after sucrose loading in mice and diabetic rats. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 68(12): 2421–2426.

Itoh, T., Umekawa, H. & Furuichi, Y., 2005. Potential ability of hot water adzuki (Vigna angularis) extracts to inhibit the adhesion, invasion, and metastasis of murine B16 melanoma cells. Bioscience Biotechnology and Biochemistry 69(3): 448–454.

Jacot Guillarmod, A., 1971. Flora of Lesotho. Verlag J. Cramer, Lehre, Germany. 474 pp.

Jagdale, G.B., Ball-Coelho, B., Potter, J., Brandle, J. & Roy, R.C., 2000. Rotation crop effects on Pratylenchus penetrans and subsequent crop yields. Canadian Journal of Plant Science 80: 543–549.

Jain, S.K. & Sutarno, H., 1996. Amaranthus L. (grain amaranth). In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 75–79.

Jaiwal, P.K., Kumari, R., Ignacimuthu, S., Potrykus, I. & Sautter, C., 2001. Agrobacterium tumefaciens-mediated genetic transformation of mungbean (Vigna radiata L. Wilczek) - a recalcitrant grain legume. Plant Science 161: 239–247.

James, C., 2002. Global status of commercialized transgenic crops: 2001. ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) Briefs No 24: Preview. ISAAA, Ithaca, New York, United States. 20 pp.

Janick, J. & Simon, J.E. (Editors). 1990. Advances in new crops. Timber Press, Portland, Oregon, United States. 560 pp.

Jansen, P.C.M., 1989a. Lathyrus sativus L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 50–51.

Jansen, P.C.M., 1989b. Lens culinaris Medikus. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 51–53.

Jansen, P.C.M., 1989c. Macrotyloma uniflorum (Lam.) Verdc. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 53–54.

Jansen, P.C.M., 1989d. Phaseolus acutifolius A. Gray. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 54–55.

Jansen, P.C.M., 1989e. Vicia faba L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 64–66.

Jansen, P.C.M. & Ong, H.C., 1996. Eleusine coracana (L.) Gaertner cv. group Finger Millet. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 90–95.

Jauhar, P.P., 2003. Haploid and doubled haploid production in durum wheat by wide hybridization. In: Maluszynski, M., Kasha, K.J., Forster, B.P. & Szarejko, I. (Editors). Doubled haploid production in crop plant: a manual. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 161–166.

Javaheri, F. & Baudoin, J.P., 2001. Soya bean. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 809–828.

Jayaraj, A.P., Tovey, F.I., Lewin, M.R. & Clark, C.G., 2000. Duodenal ulcer prevalence: experimental evidence for the possible role of dietary lipids. Journal of Gastroenterology and Hepatology 15(6): 610–616.

Jellen, E.N. & Beard, J., 2000. Geographical distribution of a chromosome 7C and 17 intergenomic translocation in cultivated oat. Crop Science 40: 256–263.

Jellis, G.J., Bond, D.A. & Boulton, R.E., 1998. Diseases of faba bean. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 371–422.

Jideani, I.A., 1990. Acha - Digitaria exilis - the neglected cereal. Agriculture International 42(5): 132–134, 143.

Jideani, I.A., 1999. Traditional and possible technological uses of Digitaria exilis (acha) and Digitaria iburua (iburu): a review. Plant Foods for Human Nutrition 54: 363–374.

Johnson, D.E., Riches, C.R., Diallo, R. & Jones, M.J., 1997. Striga on rice in West Africa; crop host range and the potential of host resistance. Crop Protection 16(2): 153–157.

Johnson, N.L., Pachico, D. & Wortmann, C.S., 2003. The impact of CIAT's genetic improvement research on beans. In: Evenson, R.E. & Gollin, D. (Editors). Crop variety improvement and its effect on productivity: the impact of international agricultural research. CABI Publishing, Wallingford, United Kingdom. pp. 257–274.

Jones, M., Heinrichs, E., Johnson, D. & Riches, C., 1994. Characterization and utilization of Oryza glaberrima in the upland rice breeding programme. In: WARDA. Annual report 1993. Bouaké, Côte d'Ivoire. pp. 3–13.

Jones, M.P., Dingkuhn, M., Aluko, G.K. & Semon, M., 1997. Interspecific Oryza sativa L. × O. glaberrima Steud. progenies in upland rice improvement. Euphytica 94(2): 237–246.

Jordaan, J.P., 1999. Hybrid wheat in Africa? In: CIMMYT. The tenth regional wheat workshop for eastern, central and southern Africa. CIMMYT, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 465–472.

Joshi, B.D. & Rana, R.S., 1995. Buckwheat (Fagopyrum esculentum). In: Williams, J.T. (Editor). Cereals and pseudocereals. Underutilized crops series. Chapman & Hall, London, United Kingdom. pp. 85–127.

Joshi, B.D., Mehra, K.L. & Sharma, S.D., 1983. Cultivation of grain amaranth in the north western hills. Indian Farming 32(12): 34–37.

Joshi, P.K. & Saxena, R., 2002. A profile of pulses production in India: facts, trends and opportunities. Indian Journal of Agricultural Economics 57(3): 326–339.

Joshi, P.K., Parthasarathy Rao, P., Gowda, C.L.L., Jones, R.B., Silim, S.N., Saxena, K.B. & Jagdish Kumar, 2001. The world chickpea and pigeonpea economies: facts, trends, and outlook. ICRISAT, Patancheru, India. 62 pp.

Jutzi, S. & Grysels, G., 1984. Oats, a new crop in the Ethiopian highlands. PGRC/E (Plant Genetic Resource Centre / Ethiopia) / ILCA (International Livestock Centre for Africa) Newsletter 5: 22–24.

Kaga, A., Ohnishi, M., Ishii, T. & Kamijima, O., 1996a. A genetic linkage map of azuki bean constructed with molecular and morphological markers using an interspecific population (Vigna angularis × V. nakashimae). Theoretical and Applied Genetics 93(5/6): 658–663.

Kaga, A., Tomooka, N., Egawa, Y., Hosaka, K. & Kamijima, O., 1996b. Species relationships in the subgenus Ceratotropis (genus Vigna) as revealed by RAPD analysis. Euphytica 88: 17–24.

Kahn, J., 1993. Studies on interference between newly defined bean-infecting potyviruses. [Internet] WAU Dissertation Abstracts No 1689. Wageningen, Netherlands. <http://library.wur.nl/wda/abstracts/ab1689.html>. Accessed June 2004.

Kalloo, G., 1993. Pea, Pisum sativum L. In: Kalloo, G. & Bergh, B.O. (Editors). Genetic improvement of vegetable crops. Pergamon Press, Oxford, United Kingdom. pp. 409–425.

Kamble, S., Misra, H.S., Mahajan, S.K. & Eapen, S., 2003. A protocol for efficient biolistic transformation of mothbean Vigna aconitifolia L. Jacq. Maréchal. Plant Molecular Biology Reporter 21: 457a–457j.

Kannaiyan, J. & Haciwa, H.C., 1993. Diseases of food legume crops and the scope for their management in Zambia. FAO Plant Protection Bulletin 41(2): 73–90.

Kaplan, L. & Lynch, T.F., 1999. Phaseolus (Fabaceae) in archaeology: AMS radiocarbon dates and their significance for pre-Colombian agriculture. Economic Botany 53(3): 261–272.

Kashin, A.S., Kostyutchkova, M.K., Blyudneva, E.A. & Davoyan, N.I., 1997. Interspecific crosses of Panicum miliaceum L. with a distant millet species. International Sorghum and Millet Newsletter 38: 150–151.

Kashiwaba, K., Tomooka, N., Kaga, A., Han, O.-K. & Vaughan, D.A., 2003. Characterization of resistance to three bruchid species (Callosobruchus spp., Coleoptera, Bruchidae) in cultivated rice bean (Vigna umbellata). Journal of Economic Entomology 96(1): 201–213.

Kassam, A.H., van Velthuizen, H.T., Fischer, G.W., Shah, M.M. & Antoine, J., 1991. Agro ecological land resources assessment for agricultural development planning. A case study of Kenya: resources data base and land productivity. Technical annex 3: agro-climatic and agro edaphic suitabilities for barley, oat, cowpea, green gram and pigeonpea. World Soil Resources Reports No 71–3. FAO, Rome, Italy. 78 pp.

Kathju, S., Garg, B.K., Vyas, S.P. & Lahiri, A.N., 2003. Sustainable production of moth bean through genotype management under arid environments. Journal of Arid Environments 53: 137 143.

Kaushal, P. & Ravi, 1998. Crossability of wild species of Oryza with Oryza sativa cvs PR 106 and Pusa Basmati 1 for transfer of bacterial leaf blight resistance through interspecific hybridization. Journal of Agricultural Science 130(4): 423–430.

Kay, D.E., 1979. Food legumes. Crops and Product Digest No 3. Tropical Products Institute, London, United Kingdom. 435 pp.

Kearney, J. & Smartt, J., 1995. The grasspea. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 266–270.

Keay, R.W.J., 1954. Molluginaceae. In: Keay, R.W.J. (Editor). Flora of West Tropical Africa. Volume 1, part 1. 2nd Edition. Crown Agents for Oversea Governments and Administrations, London, United Kingdom. pp. 133–135.

Kebebew, A., Gaj, M.D. & Maluszynski, M., 1998. Somatic embryogenesis and plant regeneration in callus culture of tef, Eragrostis tef (Zucc.) Trotter. Plant Cell Reports 18(1–2): 154–158.

Kebebew, F., 1988. PGRC/E takes steps to conserve ye-eb nut (Cordeauxia edulis), the most hardy shrub in South-East Ethiopia. PGRC/E-ILCA Germplasm Newsletter 17: 12–13.

Kedır, K., Jones, B.M.G. & Mengiste, T., 1993. Outbreeding in field grown teff (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter). In: Riley, K.W., Gupta, S.C., Seetharam, A. & Mushonga, J.N. (Editors). Advances in small millets. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India. pp. 425–430.

Kee, E., Glancey, J.L. & Wootten, T.L., 1997. The Lima bean: a vegetable crop for processing. HortTechnology 7(2): 119–128.

Keegan, A.B. & van Staden, J., 1981. Marama bean, Tylosema esculentum, a plant worthy of cultivation. South African Journal of Science 77: 387.

Keith, J.O. & Plowes, D.C.H., 1997. Considerations of wildlife resources and land use in Chad. SD Technical Paper No 45. U. S. Agency for International Development, Washington, D. C. , United States. 29 pp.

Keith, M.E. & Renew, R., 1975. Notes on some edible wild plants found in the Kalahari. Koedoe 18: 1–12.

Kennedy-O'Byrne, J., 1957. Notes on African grasses. 29. A new species of Eleusine from Tropical and South Africa. Kew Bulletin 11: 65–72.

Kernick, M.D., 1978. Indigenous arid and semi-arid forage plants of North Africa, the Near and Middle East. Technical data. Ecological management of arid and semiarid rangelands in Africa and the Near and Middle East (EMASAR - Phase 2). Volume 4. FAO, Rome, Italy. 689 pp.

Kernick, M.D., 1992. The ecological amplitude and performance of the desert grass Panicum turgidum. In: Chapman, G.P. (Editor). Desertified grasslands: their biology and management. Papers presented at an International Symposium organized by the Linnean Society of London and Wye College, University of London, held at the Linnean Society's Rooms, London, 27, 28 February and 1 March 1991. Linnean Society Symposium Series No 13. Academic Press, London, United Kingdom. pp. 111–126.

Ketema, S., 1997. Tef. Eragrostis tef (Zucc.) Trotter. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops No 12. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, Germany & International Plant Genetics Resources Institute, Rome, Italy. 50 pp.

Ketshajwang, K.K., Holmback, J. & Yeboah, S.O., 1998. Quality and compositional studies of some edible Leguminosae seed oils in Botswana. Journal of the American Oil Chemists Society 75(6): 741–743.

Khairallah, M., Ribaut, J.-M., William, M., Singh, R. & Hoisington, D., 2001. Mapping and marker-assisted selection in maize and wheat at CIMMYT. In: Tefera, H., Belay, G. & Sorrells, M.E. (Editors). Narrowing the rift: tef research and development. Proceedings of the international workshop on tef genetics and improvement, 16–19 October 2000. Ethiopian Agricultural Research Organization, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 275–287.

Khairwal, I.S., Rai, K.N., Andrews, D.J. & Harınarayana, G., 1999. Pearl millet breeding. Science Publishers, Enfield, New Hampshire, United States. 511 pp.

Khanda, C.M., Mohapatra, A.K. & Misra, P.K., 2001. Response of rice bean (Vigna umbellata) to row spacing and phosphorus under rainfed condition. Annals of Agricultural Research 22(4): 481–484.

Khatri, R.S., 2004. Breeding priorities for genetic improvement in mothbean (Vigna aconitifolia (Jacq.) Maréchal). Annals of Biology 20(2): 219–222.

Khlestkina, E.K., Ma Hla Myint Than, Pestsova, E.G., Röder, M.S., Malyshev, S.V., Korzun, V. & Börner, A., 2004. Mapping of 99 new microsatellite-derived loci in rye (Secale cereale L.) including 39 expressed sequence tags. Theoretical and Applied Genetics 109(4): 725–732.

Khush, G.S., 1997. Origin, dispersal, cultivation and variation of rice. Plant Molecular Biology 35: 25–34.

Kiambi, D., 1999. Assessment of the status of agrobiodiversity in Djibouti: a contribution to the National Biodiversity Strategy and Action Plan. Draft report. IPGRI, Nairobi, Kenya. 61 pp.

Kim, K.H., Lee, K.W., Kim, D.Y., Park, H.H., Kwon, I.B. & Lee, H.J., 2005. Optimal recovery of high-purity rutin crystals from the whole plant of Fagopyrum esculentum Moench (buckwheat) by extraction, fractionation, and recrystallization. Bioresource Technology 96(15): 1709–1712.

King, B., 1979. Outbreak of ergotism in Wollo, Ethiopia. The Lancet 1(8131): 1411.

Kislev, M.E., 1989. Origins of the cultivation of Lathyrus sativus and L. cicera (Fabaceae). Economic Botany 43(2): 262–270.

Klaassen, E.S. & Craven, P., 2003. Checklist of grasses in Namibia. Southern African Botanical Diversity Network Report No 20. SABONET, Pretoria, South Africa. 130 pp.

Klatt, A.R. (Editor), 1988. Wheat production constraints in tropical environments. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 410 pp.

Kling, J.G. & Edmeades, G., 1997. Morphology and growth of maize. 2nd Edition. IITA/CIMMYT Research Guide No 9. IITA, Ibadan, Nigeria. 36 pp.

Knauft, D.A. & Ozias-Akins, P., 1995. Recent methodologies for germplasm enhancement and breeding. In: Patte, H.E. & Stalker, H.T. (Editors). Advances in peanut science. American Peanut Research and Education Society, Stillwater, Oklahoma, United States. pp. 54–94.

Knauft, D.A. & Wynne, J.C., 1995. Peanut breeding and genetics. Advances in Agronomy 55: 393–445.

Knight, R. (Editor), 2000. Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st century. Proceedings of the third international food legumes research conference. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 800 pp.

Knott, C.M., 1990. A key for stages of development of the faba bean (Vicia faba). Annals of Applied Biology 116: 391–404.

Knudsen, K. (Editor), 2000. Directorio de colecciones de germoplasma en América Latina y el Caribe. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy. 369 pp.

Kochert, G., Stalker, H.T., Gimenes, M., Galgaro, L., Romero Lopes, C. & Moore, K., 1996. RFLP and cytogenetic evidence on the origin and evolution of allotetraploid domesticated peanut, Arachis hypogaea (Leguminosae). American Journal of Botany 83(10): 1282–1291.

Kokalis-Burelle, N., Porter, D.M., Rodríguez-Kábana, R., Smith, D.H. & Subrahmanyam, P. (Editors), 1997. Compendium of peanut diseases. 2nd Edition. APS Press American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, United States. 94 pp.

Kokwaro, J.O., 1993. Medicinal plants of East Africa. 2nd Edition. Kenya Literature Bureau, Nairobi, Kenya. 401 pp.

Konkobo-Yaméogo, C., Chaloub, Y., Kergna, A., Bricas, N., Karimou, R. & Ndiaye, J.-L., 2004. La consommation urbaine d'une céréale traditionnelle en Afrique de l'Ouest: le fonio. Cahiers Agricultures 13(1): 125–128.

Koopmans, A., ten Have, H. & Subandi, 1996. Zea mays L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 143–149.

Kouda-Bonafos, M., Czyzewska, E., Nacro, M. & Oehlschlager, A.C., 1994. Isolation of apigeninidin from leaf sheaths of Sorghum caudatum. Journal of Chemical Ecology 20(8): 2123–2125.

Kraft, J.M. & Pfleger, F.L., 2001. Compendium of pea diseases. 2nd Edition. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, United States. 67 pp.

Kraft, J.M., Larsen, R.C. & Inglis, D.A., 1998. Diseases of pea. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 325–370.

Krapovickas, A. & Gregory, W.C., 1994. Taxonomia del genero Arachis (Leguminosae). Bonplandia 8(1–4): 1–186.

Kulp, K. & Ponte, J.G. (Editors), 2000. Handbook of cereal science and technology. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, United States. 790 pp.

Kuta, D.D., Kwon-Ndung, E.H., Dachi, S., Ukwungwu, M. & Imolehin, E.D., 2003. Potential role of biotechnology tools for genetic improvement of 'lost crops of Africa': the case of fonio (Digitaria exilis and Digitaria iburua). African Journal of Biotechnology 2(12): 580–585.

Kwon-Ndung, E.H., Misari, S.M. & Dachi, S.N., 1998. Collecting germplasm of acha, Digitaria exilis (Kipp.) Stapf, accessions in Nigeria. Plant Genetic Resources Newsletter 116: 30–31.

Lacroix, B., Assoumou, Y. & Sangwan, R.S., 2003. Efficient in vitro direct shoot organogenesis and regeneration of fertile plants from embryo explants of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.). Plant Cell Reports 21(12): 1153–1158.

Ladizinsky, G. & Smartt, J., 2000. Opportunities for improved adaptation via further domestication. In: Knight, R. (Editor). Linking research and marketing opportunities for pulses in the 21st Century. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp 257–263.

Lai, Z.Q. & Pitman, W.D., 1987. Flowering response of Vigna adenantha to short days. Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida 46: 61–63.

Landwehr, J., 1976. Atlas van de Nederlandse grassen. Thieme, Zutphen, Netherlands. 362 pp.

Lang, L.-J., Yu, Z.-H., Zheng, Z.-J., Xu, M.-S. & Ying, H.-Q., 1993. Faba bean in China: state-of-the-art review. ICARDA, Aleppo, Syria. 144 pp.

Langyintuo, A.S., Lowenberg-deBoer, J., Faye, M., Lambert, D., Ibro, G., Moussa, B., Kergna, A., Kushwaha, S., Musa, S. & Ntoukam, G., 2003. Cowpea supply and demand in West and Central Africa. Field Crops Research 82(2–3): 215–231.

Laskar, S., Bhattacharyya, U.K., Sinhababu, A. & Basak, B.K., 1998. Antihepatotoxic activity of kulthi (Dolichos biflorus) seed in rats. Fitoterapia 69(5): 401–402.

Latham, P., 2004. Useful plants of Bas-Congo province, Democratic Republic of the Congo. DFID, London, United Kingdom. 320 pp.

Launert, E., 1970. Gramineae. Prodromus einer Flora von Südwestafrika. No 160. J. Cramer, Germany. 228 pp.

Launert, E., 1971. Gramineae (Bambuseae - Pappophoreae). In: Fernandes, A., Launert, E. & Wild, H. (Editors). Flora Zambesiaca. Volume 10, part 1. Flora Zambesiaca Managing Committee, London, United Kingdom. 152 pp.

Lawn, R.J., 1995. The Asiatic Vigna species. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 321–326.

Lawn, R.J. & Ahn, C.S., 1985. Mung bean (Vigna radiata (L.) Wilczek / Vigna mungo (L.) Hepper). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 584–623.

Lazarides, M., 1997. A revision of Eragrostis (Eragrostideae, Eleusininae, Poaceae) in Australia. Australian Systematic Botany 10: 77–187.

le Grand, E., 1979. Etude expérimentale des propriétés germinatives de quelques semences sahéliennes. ORSTOM, Ouagadougou, Burkina Faso. 39 pp.

le Thierry d'Ennequin, M., Panaud, O., Toupance, B. & Sarr, A., 2000. Assessment of genetic relationships between Setaria italica and its wild relative Setaria viridis using AFLP markers. Theoretical and Applied Genetics 100(7): 1061–1066.

Leakey, C.L.A. & Wills, J.B., 1977. Food crops of the lowland tropics. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom. 345 pp.

Leger, S., 1997. The hidden gifts of nature: A description of today's use of plants in West Bushmanland (Namibia). [Internet] DED, German Development Service, Windhoek, Namibia & Berlin, Germany. <http://www.sigridleger.de/book>. Accessed April 2003 - April 2004.

Lemordant, D., 1971a. Contribution à l'ethnobotanique éthiopienne. Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée 18(1–3): 1–35.

Lemordant, D., 1971b. Contribution à l'ethnobotanique éthiopienne 2. Journal d'Agriculture Tropicale et de Botanique Appliquée 18(4–6): 142–179.

Lepidi, A.A., Nuti, M.P. & Capretti, P., 1979. Poorly known nitrogen fixing symbioses. I. Cordeauxia edulis in the Horn of Africa. Agricoltura Italiana 108: 341–348.

Leung, W.-T.W., Busson, F. & Jardin, C., 1968. Food composition table for use in Africa. FAO, Rome, Italy. 306 pp.

Lewicki, T., 1974. West African food in the Middle Ages: according to Arabic sources. Cambridge University Press, London, United Kingdom. 262 pp.

Lewis, G.P., 1996. Notes on Stuhlmannia Taub. and the correct placement of Caesalpinia insolita (Harms) Brenan & J.B. Gillett (Leguminosae: Caesalpinioideae: Caesalpinieae). Kew Bulletin 51(2): 377–379.

Li, Y., Jia, J., Wang, Y. & Wu, S., 1998. Intraspecific and interspecific variation in Setaria revealed by RAPD analysis. Genetic Resources and Crop Evolution 45(3): 249–285.

Liebenberg, A.J., 1995. Dry bean research in South Africa with special emphasis on the institutes of the Agricultural Research Council. Report of the Bean Improvement Cooperative No 38. pp. 17–18.

Lin, T.Y. & Markhart III, A.H., 1996. Phaseolus acutifolius A. Gray is more heat tolerant than P. vulgaris L. in the absence of water stress. Crop Science 36(1): 110–114.

Linares, O.F., 2002. African rice (Oryza glaberrima): History and future potential. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99(25): 16360–16365.

Linnemann, A.R., 1988. Cultivation of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.) in Northern Nigeria. Report of a field study. Tropical Crops Communication 15. Wageningen Agricultural University. Department of Tropical Crop Science, Wageningen. Netherlands. 14 pp.

Linnemann, A.R., 1989. Vigna subterranea (L.) Verdc. In: van der Maesen, L.J.G. & Sadikin Somaatmadja (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 74–75.

Linnemann, A.R., 1990. Cultivation of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.) in Western Province, Zambia. Report of a field study. Tropical Crops Communication 16. Wageningen Agricultural University. Department of Tropical Crop Science, Wageningen, Netherlands. 34 pp.

Linnemann, A.R., 1994. Photothermal regulation of phenological development and growth in bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.). PhD thesis Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 123 pp.

Linnemann, A.R. & Azam-Ali, S.N., 1993. Bambara groundnut (Vigna subterranea). In: Williams, J.T. (Editor). Pulses and vegetables. Chapman and Hall, London, United Kingdom. pp. 13–58.

lo Monaco, G., 2003. The competitiveness of African pigeonpea exports in international markets. Socio-economics and Policy Working Paper Series No 15. ICRISAT, Bulawayo, Zimbabwe. 24 pp.

Lock, J.M., 1989. Legumes of Africa: a check-list. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 619 pp.

Longhi-Wagner, H.M. & de Oliveira, R.P., 2002. New grass records for Bahia State, Brazil. Kew Bulletin 57: 971–977.

López-Bellido, L. & Fuentes, M., 1997. Lupinus L. In: Faridah Hanum, I. & van der Maesen, L.J.G. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 11. Auxiliary plants. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 180–184.

Lorieux, M., Ndjiondjop, M.N. & Ghesquière, A., 2000. A first interspecific Oryza sativa × Oryza glaberrima microsatellite-based genetic linkage map. Theoretical and Applied Genetics 100: 593–601.

Lovett, J.C., Ruffo, C.K. & Gereau, R.E., 2003. Field guide to the moist forest trees of Tanzania. [Internet] Centre for Ecology Law and Policy, Environment Department, University of York, York, United Kingdom. <http://www.york.ac.uk/res/celp/webpages/projects/ecology/tree%20guide/guide.htm>. Accessed March 2005.

Lovis, L.J., 2003. Alternatives to wheat flour in baked goods. Cereal Foods World 48(2): 60–63.

Lu, B.R., 1999. Taxonomy of the genus Oryza (Poaceae): historical perspective and current status. International Rice Research Notes 24: 4–8.

Lumpkin, T.A. & McClary, D.C., 1994. Azuki bean: botany, production and uses. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 268 pp.

Lyman, J.P., Baudoin, J.P. & Hidalgo, R., 1985. Lima bean (Phaseolus lunatus L.). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 477–519.

Lynch, R.E. & Mack, T.P., 1995. Biological and biotechnical advances for insect management in peanut. In: Patte, H.E. & Stalker, H.T. (Editors). Advances in peanut science. American Peanut Research and Education Society, Stillwater, Oklahoma, United States. pp. 95–159.

M'Ragwa, L.R. & Kanyenji, B.M., 1987. Strategies for the improvement of sorghum and millet in semi-arid Kenya. In: Menyonga, J.M., Bezuneh, T. & Youdeowei, A., 1987. Food grain production

in semi-arid Africa. Proceedings of an international drought symposium held at the Kenyatta Conference Centre, Nairobi, Kenya, 19th to 23rd May, 1986. OAU/STRC-SAFGRAD, Ouagadougou, Burkina Faso. pp. 173–189.

M'Ragwa, L.R.F. & Watson, C.E. Jr, 1994. Registration of 'KAT/PROB1' proso millet. Crop Science 34: 1689–1690.

Mac Key, J., 1966. Species relationships in Triticum. Hereditas (Supplementary volume) 2: 237 276.

Mackay, J.H.E., 1974. Register of Australian herbage plant cultivars. A. Grasses. 15. Urochloa. a. Urochloa mosambicensis (Hack.) Dandy (sabi grass) cv. Nixon (reg. no. A–15a–1). Journal of the Australian Institute of Agricultural Science 40(1): 89–91.

Mackie, C., 1976. Feeding habits of the hippopotamus on the Lundi river, Rhodesia. Arnoldia (Rhodesia) 7(34): 1–16.

Mackinder, B., Pasquet, R., Polhill, R. & Verdcourt, B., 2001. Leguminosae (Papilionoideae: Phaseoleae). In: Pope, G.V. & Polhill, R.M. (Editors). Flora Zambesiaca. Volume 3, part 5. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 261 pp.

Madamba, R., 1997. The nutritive value of indigenous grain legumes and their food role at the household level. In: Adipala, E., Tenywan, J.S. & Openga-Latingo, M.W. (Editors). Proceedings of the conference of African crop science, 13–17 January, 1996, Pretoria, South Africa. Volume 3. Pretoria, South Africa. pp. 1255–1258.

Madamba, R., 2001. Cowpea leaf, an alternative vegetable in Zimbabwe. Report of DFID's Crop Post-Harvest Programme's Indigenous Vegetable Project. Crop Breeding Institute, Harare, Zimbabwe.

Madar, Z. & Stark, A.H., 2002. New legume sources as therapeutic agents. British Journal of Nutrition 88, Suppl. 3: 287–292.

Magkoko, C., 2001. Overview of production and post-harvest constraints of cowpea in Botswana. In: Kitch, L. & Tafadzwa Sibanda (Editors). Post-harvest storage technologies for cowpea (Vigna unguiculata) in Southern Africa. Copublication of Food and Agriculture Organisation (FAO), Bean/Cowpea Collaborative Research Support Programme (CRSP) and Crop Post-harvest Programme (CPHP), Harare, Zimbabwe. pp. 82–83.

Mahmoud, M.A., Khidir, M.O., Khalifa, M.A., Bashir el Amadi, A.M., Musnad, H.A.R. & Mohamed, E.T.I., 1995. Sudan: Country Report to the FAO International Technical Conference on Plant Genetic Resources (Leipzig 1996). Khartoum, Sudan. 86 pp.

Mahuku, G.S., Jara, C.E., Cajiao, C. & Beebe, S., 2002a. Sources of resistance to angular leaf spot (Phaeioisariopsis griseola) in common bean core collection, wild Phaseolus vulgaris and secondary gene pool. Euphytica 130(3): 303–313.

Mahuku, G.S., Jara, C.E., Cajiao, C. & Beebe, S., 2002b. Sources of resistance to Colletotrichum lindemuthianum in the secondary gene pool of Phaseolus vulgaris and in crosses of primary and secondary gene pools. Plant Disease 86(12): 1383–1387.

Maikhuri, R.K., Nautiyal, M.C. & Khali, M.P., 1991. Lesser-known crops of food value in Garhwal Himalaya and a strategy to conserve them. Plant Genetic Resources Newsletter 86: 33–36.

Mailu, A.M., 1997. Review of Kenyan agricultural research, Vol. 14, wheat, barley, oats and rye. KARI (Kenyan Agricultural Research Institute), Nairobi, Kenya. pp. 39–41.

Makasheva, R.K., 1983. The pea. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 267 pp.

Malaisse, F. & Parent, G., 1985. Edible wild vegetable products in the Zambezian woodland area: a nutritional and ecological approach. Ecology of Food and Nutrition 18: 43–82.

Malm, R.N. & Rachie, K.O., 1971. Setaria millets: a review of the world literature. Station Bulletin No 513. Experiment Station, University of Nebraska College of Agriculture, Lincoln, United States. 133 pp.

Mamo, T. & Parsons, J.W., 1987. Iron nutrition of Eragrostis tef (teff). Tropical Agriculture (Trinidad) 64(4): 313–317.

Maquet, A., Zoro Bi, I., Delvaux, M., Wathelet, B. & Baudoin, J.P., 1997. Genetic structure of a Lima bean base collection using allozyme markers. Theoretical and Applied Genetics 95: 980–991.

Maquet, A., Vekemans, X. & Baudoin, J.P., 1999. Phylogenetic study on wild allies of Lima bean, Phaseolus lunatus (Fabaceae), and implications on its origin. Plant Systematics and Evolution 218(1–2): 43–54.

Marchand, J.-L., Berthaud, J., Clerget, B., Dintinger, J., Reynaud, B. & Dzido, J.-L., 1997. Le maïs. In: Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. & Nicolas, D. (Editors). L'amélioration des plantes tropicales. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) & Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Montpellier, France. pp. 401–427.

Maréchal, R. & Baudet, J.C., 1977. Transfert du genre africain Kerstingiella Harms à Macrotyloma (Wight & Arn.) Verdc. (Papilionaceae). Bulletin du Jardin Botanique National de Belgique 47: 49–52.

Maréchal, R., Mascherpa, J.-M. & Stainier, F., 1978. Etude taxonomique d'un groupe complexe d'espèces des genres Phaseolus et Vigna (Papilionaceae) sur la base de données morphologiques et polliniques, traitées par l'analyse informatique. Boissiera 28: 1–273.

Markhart III, A.H., 1985. Comparative water relations of Phaseolus vulgaris L. and Phaseolus acutifolius Gray. Plant Physiology 77(1): 113–117.

Martens, J.W. & McKenzie, R.I.H., 1973. Resistance and virulence in the Avena: Puccinia coronata host-parasite system in Kenya and Ethiopia. Canadian Journal of Botany 51: 711–714.

Martínez Romero, E., 2003. Diversity of Rhizobium - Phaseolus vulgaris symbiosis: overview and perspectives. Plant and Soil 252: 11–23.

Masiunas, J.B., Eastburn, D.M., Mwaja, V.N. & Eastman, C.E., 1997. The impact of living and cover crop mulch systems on pests and yields of snap beans and cabbage. Journal of Sustainable Agriculture 9(2–3): 61–89.

Massawe, F.J, Azam Ali, S.N. & Roberts, J.A., 2003. The impact of temperature on seed germination in bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc) landraces. Seed Science and Technology 31(2): 259–273.

Massawe, F.J., Roberts, J.A., Azam-Ali, S.N. & Davey, M.R., 2003. Genetic diversity in bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc) landraces assessed by Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) markers. Genetic Resources and Crop Evolution 50(7): 737–741.

Mathre, D.E., 1997. Compendium of barley diseases. 2nd Edition. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, United States. 90 pp.

Maundu, P.M., 1997. The status of traditional vegetable utilization in Kenya. In: Guarino, L. (Editor). Traditional African vegetables. Proceedings of the IPGRI international workshop on genetic resources of traditional vegetables in Africa: conservation and use, 29–31 August 1995, ICRAF, Nairobi, Kenya. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 16. pp. 66–75.

Maundu, P.M., Ngugi, G.W. & Kabuye, C.H.S., 1999. Traditional food plants of Kenya. Kenya Resource Centre for Indigenous Knowledge (KENRIK), Nairobi, Kenya. 270 pp.

Maxted, N., 1995. An ecogeographical study of Vicia subgenus Vicia. Systematic and ecogeographic studies on crop genepools. 8. IPGRI, Rome, Italy. 184 pp.

Mayeux, A., 1990. Mung bean: prospects for cultivation in Botswana. The Bulletin of Agricultural Research in Botswana 8: 5–9.

McDonald, D., Reddy, D.V.R., Sharma, S.B., Mehan, V.K. & Subrahmanyam, P., 1998. Diseases of groundnut. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 63–124.

McDonough, C.M., Rooney, L.W. & Serna-Saldivar, S.O., 2000. The millets. In: Kulp, K. & Ponte, J.G. (Editors). Handbook of cereal science and technology. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, United States. pp. 177–201.

McIvor, J.G., 1992. Urochloa mosambicensis (Hack.) Dandy. In: 't Mannetje, L. & Jones, R.M. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 4. Forages. Pudoc Scientific Publishers, Wageningen, Netherlands. pp. 230–231.

McKenzie, P.M., Michael, P.W., Urbatsch, L.E., Noble, R.E. & Proctor, G.R., 1993. First record of Echinochloa stagnina (Poaceae) for Puerto Rico and key to the Echinochloa in the West Indies. SIDA 15(3): 527–532.

McMullen, M.S., 2000. Oats. In: Kulp, K. & Ponte, J.G. (Editors). Handbook of cereal science and technology. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, United States. pp. 127–148.

McPhee, K.E. & Muehlbauer, F.J., 2002. Improving the nutritional value of cool season food legumes. Journal of Crop Production 5(1–2): 191–211.

Meertens, H.C.C., Ndege, L.J. & Lupeja, P.M., 1999. The cultivation of rainfed, lowland rice in Sukumaland, Tanzania. Agriculture, Ecosystems and Environment 76: 31–45.

Mehta, S.L. & Santha, I.M., 1996. Plant biotechnology for development of non-toxic strains of Lathyrus sativus. In: Arora, R.K., Mathur, P.N., Riley, K.W. & Adham, Y. (Editors). 1996. Lathyrus genetic resources in Asia: proceedings of a regional workshop, 27–29 December 1995, Indira Gandhi Agricultural University, Raipur, India. IPGRI Office for South Asia, New Delhi, India. pp. 129–138.

Mehta, S.L., Ali, K. & Barna, K.S., 1994. Somaclonal variation in a food legume - Lathyrus sativus. Journal of Plant Biochemistry & Biotechnology 3: 73–77.

Mekbib, F., Mantell, S.H. & BuchananWollaston, V., 1997. Callus induction and in vitro regeneration of tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter) from leaf. Journal of Plant Physiology 151(3): 368–372.

Mello, L.V., Silva, W.J., Medina Filho, H.P. & Balvvé, R., 1995. Breeding systems in Coix lacryma-jobi populations. Euphytica 81: 217–221.

Melouk, H.A. & Shokes, F.M. (Editors), 1995. Peanut health management. APS Press American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, United States. 117 pp.

Mergeai, G., 1993. Influence des facteurs sociologiques sur la conservation des ressources phytogénétiques. Le cas de la lentille de terre (Macrotyloma geocarpum (Harms) Maréchal & Baudet) au Togo. Bulletin des Recherches Agronomiques de Gembloux 28(4): 487–500.

Mergeai, G., Kimani, P., Mwang'ombe, A., Olubayo, F., Smith, C., Audi, P., Baudoin, J. -P. & le Roi, A., 2001. Survey of pigeonpea production systems, utilization and marketing in semi-arid lands of Kenya. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement 5(3): 145–153.

Messiaen, C.-M., 1989. Le potager tropical. 2nd Edition. Presses Universitaires de France, Paris, France. 580 pp.

Messiaen, C.-M. & Seif, A.A., 2004. Phaseolus vulgaris L. (French bean). In: Grubben, G.H.J. & Denton, O.A. (Editors). Plant Resources of Tropical Africa 2. Vegetables. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands / Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands / CTA, Wageningen, Netherlands. pp. 415–419.

Messiaen, C.-M., Blancard, D., Rouxel, F. & Lafon, R., 1991. Les maladies des plantes maraîchères. 3rd Edition. INRA, Paris, France. 552 pp.

Midya, A., Bhattacharjee, K., Ghose, S.S. & Banik, P., 2005. Deferred seeding of blackgram (Phaseolus mungo L.) in rice (Oryza sativa L.) field on yield advantages and smothering of weeds. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 195–201.

Miège, J. & Miège, M.-N., 1978. Cordeauxia edulis - a Caesalpiniaceae of arid zones of East Africa: caryologic, blastogenic and biochemical features; potential aspects for nutrition. Economic Botany 32(3): 336–345.

Miège, J., Crapon de Caprona, A. & Lacotte, D., 1978. Caractères séminaux, palynologiques, caryologiques de deux légumineuses alimentaires: Cordeauxia edulis Hemsley et Psophocarpus tetragonolobus (L.) DC. Candollea 33(2): 329–347.

Miklas, P.N., Rosas, J.C., Breaver, J.S., Telek, L. & Freytag, G.F., 1994. Field performance of selected tepary bean germplasm in the tropics. Crop Science 34: 1639–1644.

Ministry of Agriculture and Rural Development, 2002. Field crops technical handbook. 2nd Edition. Ministry of Agriculture and Rural Development, Nairobi, Kenya. 219 pp.

Missouri Botanical Garden, undated. VAST (VAScular Tropicos) nomenclatural database. [Internet] <http://mobot.mobot.org/W3T/Search/vast.html>. Accessed September 2003.

Mitchell, R.A.C., Keys, A.J., Gong, Y.-H. & Lawlor, D.W., 2003. Photosynthetic nitrogen and water-use efficiency of marama bean, Tylosema esculentum, an African legume. Comparative Biochemistry and Physiology Part A 134: s166.

Modiakgotla, E., Tacheba, G., Mbulawa, T., Makhwaje, E. & Nkhori, S., 1999. Use of Urochloa trichopus and Dactiloctenium species in Ngamiland. Department of Agricultural Research, Ministry of Agriculture, Gaborone, Botswana. 11 pp.

Mogotsi, K.K., 1982. Evaluation of factors influencing growth, development and yield of grain legumes. MSc Thesis, Texas Tech University, Lubbock, Texas, United States. 83 pp.

Mohamed, A.I.S., 1999. Performance of durum-wheat genotypes in northern Sudan. Rachis 18(1): 26–30.

Moller, K., 1990. Manuel des techniques agroforestières pour la conservation et amélioration biologique des sols: la jachère. Centre FAFIALA, Antananarivo, Madagascar. 15 pp.

Monaghan, B.G. & Halloran, G.M., 1996. RAPD variation within and between natural populations of morama (Tylosema esculentum (Burchell) Schreiber) in southern Africa. South African Journal of Botany 62(6): 287–291.

Mondal, A.K., Parui, S., Nandi, J.B. & Mandal, S., 1998. Studies on the effect of temperature on the germination of seeds. Indian Journal of Plant Physiology 3(2): 168–171.

Monyo, E.S., 2002. Pearl millet cultivars released in the SADC region. ICRISAT, Bulawayo, Zimbabwe. 35 pp.

Morales-Payán, J.P., Ortiz, J.R., Cicero, J. & Taveras, F., 2002. Digitaria exilis as a crop in the Dominican Republic. In: Janick, J. & Whipkey, A. (Editors). Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, Virginia, United States. pp. S1–S3.

Morgan, W.T.W., 1981. Ethnobotany of the Turkana: use of plants by a pastoral people and their livestock in Kenya. Economic Botany 35(1): 96–130.

Morris, R. & Sears, E.R., 1967. The cytogenetics of wheat and its relatives. In: Quisenberry, K.S. & Reitz, L.P. (Editors). Wheat and wheat improvement. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, United States. pp. 19–87.

Mpepereki, S., Javaheri, F., Davis, P. & Giller, K.E., 2000. Soyabeans and sustainable agriculture: 'promiscuous' soyabeans in southern Africa. Field Crops Research 65: 137–149.

Muehlbauer, F.J. & Kaiser, W.J. (Editors), 1994. Expanding the production and use of cool season food legumes: a global perspective of persistent constraints and of opportunities and strategies for further increasing the productivity and use of pea, lentil, faba bean, chickpea and grasspea in different farming systems. Proceedings of the second international food legume research conference on pea, lentil, faba bean, chickpea, and grasspea, Cairo, Egypt, 12–16 April 1992. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 991 pp.

Muehlbauer, F.J., Cubero, J.I. & Summerfield, R.J., 1985. Lentil (Lens culinaris Medic.). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 266–311.

Mugova, A. & Mavunga, J., 2000. Wei Wei integrated development project, Sigor, Kenya. Desertification Control Bulletin 36: 95–101.

Mulat, G. & Damesa, D., 1996. Collecting germplasm in the North and West Shewa administrative regions of Ethiopia. Plant Genetic Resources Newsletter 105: 39–41.

Mundree, S.G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., vander Willigen, C., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J.M. & Thomson, J.A., 2002. Physiological and molecular insights into drought tolerance. African Journal of Biotechnology 1(2): 28–38.

Muñoz, L.C., Blair, M.W., Duque, M.C., Tohme, J. & Roca, W., 2004. Introgression in common bean × tepary bean interspecific congruity-backcross lines as measured by AFPL markers. Crop Science 44 (2): 637–645.

Murty, D.S. & Renard, C., 2001. Sorghum. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 78–96.

Musa, G.L.C., 1985. The spectrum of resistance in rye to Puccinia graminis and P. recondita. Cereal Rusts Bulletin 13(1): 29–36.

Musiyiwa, K., Mpepereki, S. & Giller, K.E., 2005. Symbiotic effectiveness and host ranges of indigenous rhizobia nodulating promiscuous soyabean varieties in Zimbabwean soils. Soil Biology and Biochemistry 37: 1169–1176.

Mutch, L.A. & Young, J.P.W., 2004. Diversity and specificity of Rhizobium leguminosarum biovar viciae on wild and cultivated legumes. Molecular Ecology 13(8): 2435–2444.

Muthoka, M.S. & Shakoor, A., 1988. Mungbean improvement and production in the semi-arid areas of Kenya. In: Mungbean. Proceedings of the second international symposium, Bangkok, Thailand, 16–20 November 1987. Asian Vegetable Research and Development Centre, Shanhua, Taiwan. pp. 601–608.

Myre, M., 1972. Algumas gramíneas novas ou pouco conhecidas para a província de Moçambique. Boletim da Sociedade Broteriana 46: 345–353.

Nabhan, G.P. & Felger, R.S., 1978. Teparies in southwestern North America. A biogeographical and ethnohistorical study of Phaseolus acutifolius. Economic Botany 32(1): 2–19.

Nadolska-Orczyk, A. & Orczyk, W., 2000. Study of the factors influencing Agrobacterium mediated transformation of pea (Pisum sativum L.). Molecular Breeding 6: 185–194.

Naegele, A.F.G., 1977. Plantes fourragères spontanées d'Afrique tropicale seche: données techniques. Aménagement écologique des pâturages arides et semi arides d'Afrique, du Proche et du Moyen Orient (EMASAR phase 2). Volume 3. FAO, Rome, Italy. 510 pp.

Nagl, W., Ignacimuthu, S. & Becker, J., 1997. Genetic engineering and regeneration of Phaseolus and Vigna. State of the art and new attempts. Journal of Plant Physiology 150(6): 625–644.

Naku Mbumba, M.D., Walangululu, M. & Basiloko, M., 1984. Comportement des plants issus de différents modes de propagation du coïx. Tropicultura 2(3): 95–98.

Narain, P., Singh, R.S. & Kumar, D., 2000. Droughts and dew bean productivity in northwestern arid Rajasthan, India. Drought Network News 13(1): 7–9.

National Academy of Sciences, 1979. Tropical legumes: resources for the future. National Academy of Sciences, Washington, D.C., United States. 331 pp.

National Research Council, 1984. Amaranth, modern prospects for an ancient crop. National Academy Press, Washington, D.C., United States. 80 pp.

National Research Council, 1989. Lost crops of the Incas: little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation. National Academy Press. Washington D.C., United States. 415 pp.

National Research Council, 1996. Lost crops of Africa. Volume 1: grains. National Academy Press, Washington D.C., United States. 383 pp.

Ndoye, M. & Nwasike, C.C., 1993. Fonio millet (Digitaria exilis Stapf) in West Africa. In: Riley, K.W., Gupta, S.C., Seetharam, A. & Mushonga, J.N. (Editors). Advances in small millets. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India. pp. 85–94.

Negi, A., Boora, P. & Khetarpaul, N., 2001. Starch and protein digestibility of newly released moth bean cultivars: effect of soaking, dehulling, germination and pressure cooking. Nahrung/Food 45(4): 251–254.

Nelson, L.A., 1984. Technique for crossing proso millet. Crop Science 24: 205–206.

Nene, Y.L., Hall, S.D. & Sheila, V.K., 1990. The pigeonpea. CAB International, Wallingford, United Kingdom & ICRISAT, Patancheru, India. 490 pp.

Neuwinger, H.D., 2000. African traditional medicine: a dictionary of plant use and applications. Medpharm Scientific, Stuttgart, Germany. 589 pp.

Nevo, E., 1992. Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, Hordeum spontaneum, in the fertile crescent. In: Shewry, P.R. (Editor). Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 19–44.

Ng, N.Q. & Singh, B.B., 1997. Cowpea. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 82–99.

Ngai, P.H.K. & Ng, T.B., 2004. Coccinin, an antifungal peptide with antiproliferative and HIV-1 reverse transcriptase inhibitory activities from large scarlet runner beans. Peptides 25(12): 2063–2068.

Nimkar, P.M., Mandwe, D.S. & Dudhe, R.M., 2005. Physical properties of moth gram. Biosystems Engineering 91(2): 183–189.

Nishizawa, N., Sato, D., Ito, Y., Nagasawa, T., Hatakeyama, Y., Choi, M.-R., Choi, Y.-Y. & Wei, Y.-M., 2002. Effects of dietary protein of proso millet on liver injury induced by D-galactosamine in rats. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 66(1): 92–96.

Norden, A., Smith, O.D. & Gorbet, D.W., 1982. Breeding of the cultivated peanut. In: Patte, H. & Young, C. (Editors). Peanut science and technology. American Peanut Research and Education Society, Yaokum, Texas, United States. pp. 21–49.

Numata, M., Yamamoto, A., Moribayashi, A. & Yamada, H., 1989. Antitumor components isolated from the Chinese herbal medicine Coix lachryma-jobi. Phytochemistry 28(3): 883–886.

Nwankiti, O.C., 1984. Introduction of Svalöf's 'Fourex' - a tetraploid spring rye (Secale cereale) to south eastern Nigeria: preliminary observations. Sveriges Utsädeförenings Tidskrift 94(3): 205–208.

Nwilene, F.E., Williams, C.T., Ukwungwu, M.N., Dakouo, D., Nacro, S., Hamadoun, A., Kamara, S.I., Okhidievbie, O., Abamu, F.J. & Adam, A., 2002. Reactions of differential rice genotypes to African rice gall midge in West Africa. International Journal of Pest Management 48(3): 195–201.

O'Kennedy, M.M., Burger, J.T. & Botha, F.C., 2004. Pearl millet transformation system using the positive selectable marker gene phosphomannose isomerase. Plant Cell Reports 22(9): 684–690.

O'Reagain, P.J. & Grau, E.A., 1995. Sequence of species selection by cattle and sheep on South African sourveld. Journal of Range Management 48(4): 314–321.

Obasi, M.O., 1997. Effect of processing on antinutritional factors in edible seeds of Kersting's groundnut (Kerstingiella geocarpa Harms). Ghana Journal of Science 31–36: 67–71.

Oduori, C.O., 1993. Small millets production and research in Kenya. In: Riley, K.W., Gupta, S.C., Seetharam, A. & Mushonga, J.N. (Editors). Advances in small millets. Oxford & IBH Publishing, New Delhi, India. pp. 67–73.

Ofori, K., Kumaga, F.K. & Bimi, K.L., 2001. Variation in seed size, protein and tannin content of bambara groundnut (Vigna subterranea). Tropical Science 41(2): 100–103.

Ogwumike, O.O., 2002. Hemopoietic effect of aqueous extract of the leaf sheath of Sorghum bicolor in albino rats. African Journal of Biomedical Research 5(1–2): 69–71.

Ohnishi, O., 1998. Search for the wild ancestor of buckwheat 3. The wild ancestor of cultivated common buckwheat, and of tatary buckwheat. Economic Botany 52(2): 123–133.

Ohnishi, O. & Asano, N., 1999. Genetic diversity of Fagopyrum homotropicum, a wild species related to common buckwheat. Genetic Resources and Crop Evolution 46(4): 389–398.

Olivier, F.C. & Annandale, J.G., 1998. Thermal time requirements for the development of green pea (Pisum sativum L.). Field Crops Research 56(3): 301–307.

Omokanye, A.T., 1996. Performance of horsegram (Macrotyloma uniflorum (Lam.) Verdc.) in the sub-humid zone of Nigeria. Legume Research 19(1): 52–54.

Ouédraogo, J.T., Gowda, B.S., Jean, M., Close, T.J., Ehlers, J.D., Hall, A.E., Gillaspie, A.G., Roberts, P.A., Ismail, A.M., Bruening, G., Gepts, P., Timko, M.P. & Belzile, F.J., 2002. An improved genetic linkage map for cowpea (Vigna unguiculata L.) Combining AFLP, RFLP, RAPD, biochemical markers, and biological resistance traits. Genome 45(1): 175–188.

Oyen, L.P.A. & Andrews, D.J., 1996. Pennisetum glaucum (L.) R. Br. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 119–123.

Ozenda, P., 1977. Flore du Sahara. Deuxième édition. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, France. 622 pp.

Pale, E., Kouda-Bonafos, M., Nacro, M., Vanhaelen, M., Vanhaelen-Fastré & Ottinger, R., 1997. 7-O-methylapigeninidin, an anthocyanidin from Sorghum caudatum. Phytochemistry 45(5): 1091–1092.

Pandey, R.K. & Westphal, E., 1989. Vigna unguiculata (L.) Walp. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 77–81.

Paredes-López, O. (Editor), 1994. Amaranth: biology, chemistry and technology. CRC Press, Boca Raton, Florida, United States. 223 pp.

Pasquet, R.S., 1998. Morphological study of cultivated cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Importance of ovule number and definition of cv gr Melanophthalmus. Agronomie 18: 61–70.

Pasquet, R.S. & Baudoin, J.-P., 1997. Le niébé. In: Charrier, A., Jacquot, M., Hamon, S. & Nicolas, D. (Editors). L'amélioration des plantes tropicales. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) & Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM), Montpellier, France. pp. 483–505.

Pasquet, R.S., Mergeai, G. & Baudoin, J.-P, 2002. Genetic diversity of the African geocarpic legume Kersting's groundnut, Macrotyloma geocarpum (tribe Phaseoleae: Fabaceae). Biochemical Systematics and Ecology 30: 943–952.

Pasquet, R.S., Schwedes, S. & Gepts, P., 1999. Isozyme diversity in bambara groundnut. Crop Science 39(4): 1228–1236.

Paul, A.A., Southgate, D.A.T. & Russell, J., 1980. First supplement to McCance and Widdowson's The composition of foods: amino acids (mg per 100 g food), fatty acids (g per 100 g food). Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 112 pp.

Payne, T.S., Tanner, D.G. & Abdalla, O.S., 1996. Current issues in wheat research and production in eastern, central and southern Africa: changes and challenges. In: Tanner, D.G., Payne, T.S. & Abdalla, O.S (Editors). The ninth regional wheat workshop for eastern, central and southern Africa. CIMMYT, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 1–27.

Pearson, C.J. (Editor), 1985. Pearl millet, special issue. Field Crops Research 11(2–3): 111–290.
Peltonen-Sainio, P., 1998. Growth and development of oat with special reference to source-sink interaction and productivity. In: Smith, D.L. & Hamel, C. (Editors). Crop yield: physiology and processes. Springer, Berlin, Germany. pp. 39–66.
Pengelly, B.C. & Eagles, D.A., 1999. Agronomic variation in a collection of perennial Urochloa spp. and its relationship to site of collection. Genetic Resources Communication 29: 1–13.
Penninkhoff, P., 1984. The prospects of growing proso millet in arid and semi-arid areas of Kenya. East African Agricultural and Forestry Journal 44: 298–305.
Perrino, P., Laghetti, G., d'Antuono, L.F., Al Ajlouni, M., Kanbertay, M., Szabò, A.T. & Hammer, K., 1996. Ecogeographical distribution of hulled wheat species. In: Padulosi, S., Hammer, K. & Heller, J. (Editors). Hulled wheats. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 4. Proceedings of the first international workshop on hulled wheats, 21–22 July 1995, Castelvecchio Pascoli, Tuscany, Italy. IPGRI, Rome, Italy. pp. 101–119.
Petr, J., Michalik, I., Tlaskalova, H., Capouchova, I., Famera, O., Urminska, D., Tukova, L. & Knoblochova, H., 2003. Extension of the spectra of plant products for the diet in coeliac disease. Czech Journal of Food Sciences 21(2): 59–70.
Peyre de Fabrègues, B., 1992. Observations on the ebb and flow of native grasses in the area of the Ekrafane Ranch, Sahel. In: Chapman, G.P. (Editor). Desertified grasslands: their biology and management. Papers presented at an international symposium organized by the Linnean Society of London and Wye College, University of London, held at the Linnean Society's Rooms, London, 27, 28 February and 1 March 1991. Academic Press, London, United Kingdom. pp. 37–46.
Phillips, S., 1995. Poaceae (Gramineae). In: Hedberg, I. & Edwards, S. (Editors). Flora of Ethiopia and Eritrea. Volume 7. Poaceae (Gramineae). The National Herbarium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia and Department of Systematic Botany, Uppsala University, Uppsala, Sweden. 420 pp.
Phillips, S.M., 1972. A survey of the genus Eleusine in Africa. Kew Bulletin 27(2): 251–270.
Pickett, A.A., 1993. Hybrid wheat: results and problems. Advances in Plant Breeding (Supplement to Journal of Plant Breeding) 15: 1–259.
Pilbeam, D.J. & Bell, E.A., 1979. Free amino acids in Crotalaria seeds. Phytochemistry 18: 973–985.
Pilet-Nayel, M.L., Muehlbauer, F.J., McGee, R.J., Kraft, J.M., Baranger, A. & Coyne, C.J., 2002. Quantitative trait loci for partial resistance to Aphanomyces root rot in pea. Theoretical and Applied Genetics 106(1): 28–39.
Pitman, W.D. & Singer, K.L., 1985. Germination and establishment of perennial Vigna species. Proceedings of the Soil and Crop Science Society of Florida 44: 164–167.
Plowright, R.A., Coyne, D.L., Nash, P. & Jones, M.P., 1999. Resistance to the rice nematodes Heterodera sacchari, Meloidogyne graminicola and M. incognita in Oryza glaberrima and O. glaberrima × O. sativa interspecific hybrids. Nematology 1(7–8): 745–751.
Poehlman, J.M., 1991. The mungbean. Westview Press, Boulder, Colorado, United States. 375 pp.
Polaszek, A. (Editor), 1998. African cereal stem borers: economic importance, taxonomy, natural enemies and control. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 530 pp.
Polhill, R.M., 1982. Crotalaria in Africa and Madagascar. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 389 pp.
Polhill, R.M., 1990. Légumineuses. In: Bosser, J., Cadet, T., Guého, J. & Marais, W. (Editors). Flore des Mascareignes. Famille 80. The Sugar Industry Research Institute, Mauritius, l'Office de la Recherche Scientifique Outre-Mer, Paris, France & Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 235 pp.
Pope, G.V., Polhill, R.M. & Martins, E.S. (Editors), 2003. Leguminosae (Papilionoideae: Loteae, Galegeae, Vicieae, Cicereae, Trifolieae, Podalyrieae, Crotalarieae & Genisteae). Flora Zambesiaca. Volume 3, part 7. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 274 pp.
Popelka, J.C. & Altpeter, F., 2003. Agrobacterium tumefaciens-mediated genetic transformation of rye (Secale cereale L.). Molecular Breeding 11(3): 203–211.
Popelka, J.C., Terryn, N. & Higgins, T.J.V., 2004. Gene technology for grain legumes: can it contribute to the food challenge in developing countries? Plant Science 167: 195–206.

Popelka, J.C., Xu, J.-P. & Altpeter, F., 2003. Generation of rye (Secale cereale L.) plants with low transgene copy number after biolistic gene transfer and production of instantly marker-free transgenic rye. Transgenic Research 12(5): 587–596.

Portères, R., 1976. African cereals: Eleusine, fonio, black fonio, teff, Brachiaria, paspalum, Pennisetum, and African rice. In: Harlan, J.R., de Wet, J.M.J. & Stemler, A.B.L. (Editors). Origins of African plant domestication. Mouton Publishers, The Hague, Netherlands. pp. 409–452.

Powell, A.M., 1987. Marama bean (Tylosema esculentum, Fabaceae) seed crop in Texas. Economic Botany 41: 216–220.

Prakash, V. & Uniyal, B.P., 1980. Urochloa mosambicensis (Hack.) Dandy (Poaceae) in India. Bulletin of the Botanical Survey of India 22(1–4): 210–212.

Prasada Rao, K.E. & de Wet, J.M.J., 1997. Small millets. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 259–272.

Prasada Rao, K.E., de Wet, J.M.J., Brink, D.E. & Mengesha, M.H., 1987. Infraspecific variation and systematics of cultivated Setaria italica, foxtail millet (Poaceae). Economic Botany 41(1): 108–116.

Pratchett, D., 1983. Botswana. Recent range research findings. World Animal Review 46: 18–25.

Pratt, R.C. & Nabhan, G.P., 1988. Evolution and diversity of Phaseolus acutifolius genetic resources. In: Gepts, P. (Editor). Genetic resources of Phaseolus beans: their maintenance, domestication, evolution, and utilization. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 409–440.

Purseglove, J.W., 1968. Tropical Crops. Dicotyledons. Longman, London, United Kingdom. 719 pp.

Purseglove, J.W., 1972. Tropical crops. Monocotyledons. Volume 1. Longman, London, United Kingdom. 334 pp.

Qi, A., Smithson, J.B. & Summerfield, R.J., 1998. Adaptation to climate in common bean (Phaseolus vulgaris L.): photothermal flowering responses in the eastern, southern and Great Lakes regions of Africa. Experimental Agriculture 34(2): 153–170.

Quisenberry, K.S. & Reitz, L.P. (Editors), 1967. Wheat and wheat improvement. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, United States. 560 pp.

Rabenarivo, C., 1992. Production et marché du haricot sec. United States Agency for International Development (USAID) / Madagascar Agricultural Export Liberalization Support Project (MAELSP), Antananarivo, Madagascar. 47 pp.

Rachie, K.O. & Majmudar, J.V., 1980. Pearl millet. Pennsylvania State University Press, University Park, United States. 305 pp.

Raemaekers, R.H. (Editor), 2001. Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Coöperation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Coöperation, Brussels, Belgium. 1540 pp.

Rahayu, M. & Jansen, P.C.M., 1996. Setaria italica (L.) P. Beauvois cv. group Foxtail Millet. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 127–130.

Rai, K.N., Anand Kumar, K., Andrews, D.J. & Rao, A.S., 2001. Commercial viability of alternative cytoplasmic-nuclear male-sterility systems in pearl millet. Euphytica 121: 107–114.

Rajaram, N. & Janardhanan, K., 1991. The biochemical composition and nutritional potential of the tribal pulse, Mucuna gigantea (Willd) DC. Plant Foods for Human Nutrition 41(1): 45–51.

Ralison, C., Ahimana, C., Arnaud, L. & Trèche, S., 2004. Amélioration de l'alimentation infantile en zone rurale: l'expérience du programme Nutrimad à Madagascar. In: Brouwer, I.D., Traoré, A.S. & Trèche, S. (Editors). Food-based approaches for a healthy nutrition in West Africa: the role of food technologists and nutrionists. Proceedings of the 2nd international workshop, Ouagadougou, Burkina Faso, 23–28 November 2003. Université de Ouagadougou, Burkina Faso / IRD, Montpellier, France / WUR, Wageningen, Netherlands / FAO, Rome, Italy. pp. 503–515.

Ramolemana, G.M., 1999. The phosphorus and nitrogen nutrition of bambara groundnut (Vigna subterranea (L.) Verdc.) in Botswana soils. PhD thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 89 pp.

Rasmusson, D.C. (Editor), 1985. Barley. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, United States. 522 pp.

Rathore, B.S., 2001. Screening of mothbean genotypes against root rot and seedling blight caused by Macrophomina phaseolina. Plant Disease Research 16(1): 110–112.

Reddy, B.V.S., Ramesh, S. & Reddy, P.S., 2004. Sorghum breeding research at ICRISAT - goals, strategies, methods and accomplishments. International Sorghum and Millets Newsletter 45: 5–12.

Reddy, M.V., Raju, T.N. & Lenné, J.M., 1998. Diseases of pigeonpea. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 517–558.

Rehm, S., 1989. Spezieller Pflanzenbau in den Tropen und Subtropen. 2nd Edition. Handbuch der Landwirtschaft und Ernährung in den Entwicklungsländer, Band 4. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Germany. 653 pp.

Rehm, S. & Espig, G., 1991. The cultivated plants of the tropics and subtropics: cultivation, economic value, utilization. CTA, Ede, Netherlands. 552 pp.

Remanandan, P. & Singh, L., 1997. Pigeonpea. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 156–167.

Renard, C. & Anand Kumar, K., 2001. Pearl millet. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop Production in tropical Africa. Directorate General of International Co-operation (DGIC), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 46–58.

Rey, J.-P., Pousset, J.-L., Levesque, J. & Wanty, P., 1993. Isolation and composition of a natural dye from the stems of Sorghum bicolor (L.) Moench subsp. americanum caudatum. Cereal Chemistry 70(6): 759–760.

Riley, K.W., Gupta, S.C., Seetharam, A. & Mushonga, J.N. (Editors), 1993. Advances in small millets. Oxford & IBH Publishing, New Delhi, India. 557 pp.

Ristanovic, D., 2001. Maize. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Coöperation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Coöperation, Brussels, Belgium. pp. 23–45.

Roelfs, A.P., Singh, R.P. & Saari, E.E., 1992. Rust diseases of wheat: concepts and methods of disease management. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 81 pp.

Rogerson, A., 1956. Feeding values of local barley, maize and oat straws. The East African Agricultural Journal 21: 159–160.

Rollin, D., 1997. Quelles améliorations pour les systèmes de culture du sud-ouest malgache? Agriculture et Développement 16: 57–72.

Román, B., Satovic, Z., Pozarkova, D., Macas, J., Dolezel, J., Cubero, J.I. & Torres, A.M., 2004. Development of a composite map in Vicia faba, breeding applications and future prospects. Theoretical and Applied Genetics 108(6): 1079–1088.

Roman-Ramos, R., Flores-Saenz, J.L. & Alarcon-Aguilar, F.J., 1995. Anti-hyperglycemic effect of some edible plants. Journal of Ethnopharmacology 48: 25–32.

Rooney, L.W. & Serna-Saldivar, S.O., 2000. Sorghum. In: Kulp, K. & Ponte, J.G. (Editors). Handbook of cereal science and technology. 2nd Edition. Marcel Dekker, New York, United States. pp. 149–175.

Roshevitz, R.J., 1931. A contribution to the knowledge of rice. Bulletin of Applied Botany, of Genetics and Plant Breeding 27(4): 1–133.

Ross, J.H., 1977. Fabaceae, subfamily Caesalpinioideae. In: Ross, J.H. (Editor). Flora of southern Africa. Volume 16, part 2. Botanical Research Institute, Department of Agricultural Technical Services, Pretoria, South Africa. 142 pp.

Rotter, R.G., Marquardt, R.R. & Campbell, C.G., 1991. The nutritional value of low lathyrogenic Lathyrus (Lathyrus sativus) for growing chicks. British Poultry Science 32: 1055–1067.

Roux, S.R., Hackauf, B., Linz, A., Ruge, B., Klocke, B. & Wehling, P., 2004. Leaf-rust resistance in rye (Secale cereale L.). 2. Genetic analysis and mapping of resistance genes Pr3, Pr4, and Pr5. Theoretical and Applied Genetics 110(1): 192–201.

Rubatzky, V.E. & Yamaguchi, M., 1997. World vegetables: principles, production and nutritive values. 2nd Edition. Chapman & Hall, New York, United States. 843 pp.

Rubeena, Ford, R. & Taylor, P.W., 2003. Construction of an intraspecific linkage map of lentil (Lens culinaris ssp. culinaris). Theoretical and Applied Genetics 107(5): 910–916.

Rybicki, E.P. & Pietersen, G., 1999. Plant virus disease problems in the developing world. Advances in Virus Research 53: 127–175.

Sacks, E.J., Roxas, J.P. & Sta Cruz, M.T., 2003. Developing perennial upland rice 2: field performance of S1 families from an intermated Oryza sativa/O. longistaminata population. Crop Science 43(1): 129–134.

Saharan, K., Khetarpaul, N. & Bishnoi, S., 2002. Antinutrients and protein digestibility of fababean and ricebean as affected by soaking, dehulling and germination. Journal of Food Science and Technology 39(4): 418–422.

Saikia, P., Sarkar, C.R. & Borua, I., 1999. Chemical composition, antinutritional factors and effect of cooking on nutritional quality of rice bean (Vigna umbellata (Thunb.) Ohwi and Ohashi). Food Chemistry 67(4): 347–352.

Saini, R. & Jaiwal, P.K., 2005. Transformation of a recalcitrant grain legume, Vigna mungo (L.) Hepper, using Agrobacterium tumefaciens-mediated gene transfer to shoot apical meristem cultures. Plant Cell Reports 24(3): 164–171.

Salih, O.M. & Nour, A.M., 1992. Nutritional quality of uncultivated cereal grains utilised as famine foods in western Sudan as measured by chemical analysis. Journal of the Science of Food and Agriculture 58: 417–424.

Sampson, D.R. & Burrows, V.D., 1972. Influence of photoperiod, short-day vernalization, and cold vernalization on days to heading in Avena species and cultivars. Canadian Journal of Plant Science 52(4): 471–482.

Sánchez-Monge y Parellada, E., 1981. Diccionario de plantas agrícolas. Ministerio de Agricultura, Madrid, Spain. 467 pp.

Sanders, J.H., Ahmed, M.M. & Nell, W.T., 2000. New sorghum and millet cultivar introduction in sub-Saharan Africa: impacts and research agenda. Agricultural Systems 64(1): 55–65.

Sanginga, N., Thottappilly, G. & Dashiell, K., 2000. Effectiveness of rhizobia nodulating recent promiscuous soybean selections in the moist savanna of Nigeria. Soil Biology and Biochemistry 32: 127–133.

Sanginga, N., Dashiell, K., Okogun, J.A. & Thottappilly, G., 1997. Nitrogen fixation and N contribution by promiscuous nodulating soybeans in the southern Guinea savanna of Nigeria. Plant and Soil 195: 257–266.

Sanginga, N., Dashiell, K.E., Diels, J., Vanlauwe, B., Lyasse, O., Carsky, R.J., Tarawali, S., Asafo-Adjei, B., Menkir, A., Schulz, S., Singh, B.B., Chikoye, D., Keatinge, D. & Ortiz, R., 2003. Sustainable resource management coupled to resilient germplasm to provide new intensive cereal-grain-legume-livestock systems in the dry savanna. Agriculture, Ecosystems and Environment 100(2–3): 305–314.

Sanginga, P.C., Adesina, A.A., Manyong, V.M., Otite, O. & Dashiell, K., 1999. Social impact of soybean in Nigeria's southern Guinea savanna. International Institute for Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 32 pp.

Sarr, E. & Prot, J.-C., 1985. Pénétration et développement des juvéniles d'une souche de Meloidogyne javanica et d'une race B de M. incognita dans les racines du fonio (Digitaria exilis Stapf). Revue de Nématologie 8: 59–65.

Sauer, J.D., 1967. The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. Annals of the Missouri Botanical Garden 54: 103–137.

Sauer, J.D., 1976. Grain amaranths, Amaranthus spp. (Amaranthaceae). In: Simmonds, N.W. (Editor). Evolution of crop plants. Longman, London, United Kingdom. pp. 4–7.

Saunders, D.A. & Hettel, G.P. (Editors), 1994. Wheat in heat-stressed environments: irrigated, dry areas and rice-wheat farming systems. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 402 pp.

Sauvant, D., Perez, J.-M. & Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands & INRA Editions, Versailles, France. 304 pp.

Saxena, M.C. & Singh, K.B. (Editors), 1987. The chickpea. CAB International, Wallingford, United Kingdom. 409 pp.

Saxena, N.P., Saxena, M.C., Johansen, C., Virmani, S.M. & Harris, H. (Editors), 1996. Adaptation of chickpea in the West Asian and North African Region. ICRISAT, Patancheru, India & ICARDA, Aleppo, Syria. 262 pp.

Scarascia Mugnozza, G.T. (Editor), 1973. Genetics and breeding of durum wheat. University of Bari, Bari, Italy. 696 pp.

Schalbroeck, J.-J., 2001. Rice. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 59–78.

Schinkel, C. & Gepts, P., 1988. Phaseolin diversity in the tepary bean, Phaseolus acutifolius A. Gray. Plant Breeding 101(4): 292–301.

Schippers, R.R., 2000. African indigenous vegetables. An overview of the cultivated species. Natural Resources Institute/ACP-EU Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, Chatham, United Kingdom. 214 pp.

Schmit, V. & Baudoin, J.P., 1992. Screening for resistance to Ascochyta blight in populations of Phaseolus coccineus L. and P. polyanthus Greenman. Field Crops Research 30: 155–165.

Schmit, V., du Jardin, P., Baudoin, J.P. & Debouck, D.G., 1993. Use of chloroplast DNA polymorphism for the phylogenetic study of seven Phaseolus taxa including P. vulgaris and P. coccineus. Theoretical and Applied Genetics 87: 506–516.

Scholz, V. & Ellerbrock, R., 2002. The growth productivity, and environmental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. Biomass and Bioenergy 23(2): 81–92.

Schreiber, A., 1967. Caesalpiniaceae. Prodromus einer Flora von Südwestafrika. No 59. J. Cramer, Germany. 20 pp.

Schroeder, H.E., Gollasch, S., Moore, A., Tabe, L.M., Craig, S., Hardie, D.C., Chrispeels, M.J., Spencer, D. & Higgins, T.J.V., 1995. Bean α-amylase inhibitor confers resistance to the pea weevil (Bruchus pisorum) in transgenic peas (Pisum sativum L.). Plant Physiology 107: 122–1239.

Schulze, E.-D., Ellis, R., Schulze, W., Trimborn, P. & Ziegler, H., 1996. Diversity, metabolic types and delta13C carbon isotope ratios in the grass flora of Namibia in relation to growth form, precipitation and habitat conditions. Oecologia 106: 352–369.

Schuster, W.H., Alkämper, J., Marquard, R., Stählin, A. & Stählin, L., 1998. Leguminosen zur Kornnutzung (Kornleguminosen der Welt). Giessener Beiträge zur Enwicklungsforschung. Reihe 2 (Monographien), Band 11. Förderverein Tropeninstitut Giessen, Giessen, Germany. CD-ROM.

Seegeler, C.J.P., 1983. Oil plants in Ethiopia, their taxonomy and agricultural significance. Agricultural Research Reports 921. Pudoc, Wageningen, Netherlands. 368 pp.

Seetharam, A., 1998. Small millets research: achievements during 1947–97. Indian Journal of Agricultural Sciences 68(8): 431–438.

Seetharam, A., Riley, K.W. & Harinarayana, G., 1990. Small millets in global agriculture. Proceedings of the first international small millets workshop, Bangalore, India, October 29 – November 2, 1986. Aspect Publishing, London, United Kingdom. 392 pp.

SEPASAL, 2003. Eragrostis aethiopica. [Internet] Survey of Economic Plants for Arid and Semi-Arid Lands (SEPASAL) database. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. <http://www.rbgkew.org.uk/ceb/sepasal/internet/>. Accessed September 2003.

Séré, Y. & Sy, A.A., 1997. Affections phytopathogènes majeures du riz au Sahel: analyse et stratégie de gestion. In: Miézan, K. et al. (Editors). Irrigated rice in the Sahel: prospects for sustainable development. WARDA, Mbé, Côte d'Ivoire. pp. 275–287.

Sesay, A., Saboleh, S. & Yarmah, A., 1997. Farmers knowledge and cultivation of bambara groundnut in Sierra Leone. In: Proceedings of the international bambara groundnut symposium, University of Nottingham, United Kingdom, 23–25 July 1996. University of Nottingham, Nottingham, United Kingdom. pp. 119–132.

Seshu Reddy, K.V., 1991. Insect pests of sorghum in Africa. Insect Science and its Application 12(5–6): 653–657.

Shanmugasundaram, S. & Sumarno, 1989. Glycine max (L.) Merr. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 43–47.

Shannon, D.A. & Kalala, M.M., 1994. Adoption of soybean in sub-Saharan Africa: a comparative analysis of production and utilization in Zaire and Nigeria. Agricultural Systems 46(4): 369–384.

Sharma, B.K. & Lavania, G.S., 1977. Effect of photoperiod on the growth and flowering of Vicia hirsuta Gray and V. sativa L. Tropical Ecology 18(2): 131–137.

Sharma, M.L. & Sharma, K., 1979. Cytological studies in the north Indian grasses. Cytologia 44(4): 861–872.

Sharpley, J., 1988. The foreign exchange content of Kenyan agriculture. IDS (Institute of Development Studies) Bulletin 19(2): 16–27.

Shava, S. & Mapaura, A., 2002. Traditional uses of indigenous grasses of Zimbabwe. Sabonet News 7(3): 193–197.

Shellie-Dessert, K.C. & Bliss, F.A., 1991. Genetic improvement of food quality factors. In: van Schoonhoven, A. & Voysest, O. (Editors). Common beans: research for improvement. CIAT, Cali, Colombia and CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 649–678.

Sherwood, J.L., Beute, M.K., Dickson, D.W., Elliott, J.V., Nelson, R.S., Opperman, C.H. & Shew, B.B., 1995. Biological and biotechnological control advances in Arachis diseases. In: Patte, H.E. & Stalker, H.T. (Editors). Advances in peanut science. American Peanut Research and Education Society, Stillwater, Oklahoma, United States. pp. 160–206.

Shorter, R. & Patanothai, A., 1989. Arachis hypogaea L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 35–39.

Siemonsma, J.S. & Arwooth Na Lampang, 1989. Vigna radiata (L.) Wilczek. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 71–74.

Siles, M.M., Baltensperger, D.D. & Nelson, L.A., 2001. Technique for artificial hybridization of foxtail millet (Setaria italica (L.) Beauv.). Crop Science 41(5): 1408–1412.

Siles, M.M., Russell, W.K., Baltensperger, D.B., Nelson, L.A., Johnson, B., van Vleck, L.D., Jensen, S.G. & Hein, G., 2004. Heterosis for grain yield and other agronomic traits in foxtail millet. Crop Science 44(6): 1960–1965.

Silim, S.N., Mergeai, G. & Kimani, P.M. (Editors), 2001. Status and potential of pigeonpea in eastern and southern Africa. Proceedings of a regional workshop, Nairobi, Kenya, 12–15 September 2000. Gembloux Agricultural University, Gembloux, Belgium & ICRISAT, Patancheru, India. 228 pp.

Silim, S.N., Tuwafe, S. & Singh, L. (Editors), 1994. Improvement of pigeonpea in eastern and southern Africa. Annual research planning meeting 1993, Bulawayo, Zimbabwe, 25–27 October 1993. ICRISAT, Patancheru, India. 146 pp.

Simmonds, N.W. & Rajaram, S. (Editors), 1988. Breeding strategies for resistance to the rusts of wheat. CIMMYT, Mexico D. F. , Mexico. 151 pp.

Sinclair, J.B., 1998. Diseases of soyabean. In: Allen, D.J. & Lenné, J.M. (Editors). The pathology of food and pasture legumes. CAB International, Wallingford, United Kingdom. pp. 125–178.

Singh, A.K., 1995. Groundnut. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 246–250.

Singh, A.K. & Nigam, S.N., 1997. Groundnut. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 114–127.

Singh, B.B., Mohan Raj, D.R., Dashiell, K.E. & Jackai, L.E.N. (Editors), 1997a. Advances in cowpea research. International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. 375 pp.

Singh, B.B., Ajeigbe, H.A., Tarawali, S.A., Fernandez-Rivera, S. & Musa Abubakar, 2003. Improving the production and utilization of cowpea as food and fodder. Field Crops Research 84(1–2): 169–177.

Singh, K.B., 1993. Problems and prospects of stress resistance breeding in chickpea. In: Singh, K.B. & Saxena, M.C. (Editors). Breeding for stress tolerance in cool-season food legumes. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom. pp. 17–35.

Singh, K.B. & Saxena, M.C. (Editors), 1993. Breeding for stress tolerance in cool-season food legumes. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom. 474 pp.

Singh, K.B. & Saxena, M.C., 1999. Chickpeas. The tropical agriculturalist. Macmillan Education, London, United Kingdom. 134 pp.

Singh, K.B., Pundir, R.P.S., Robertson, L.D., van Rheenen, H.A., Singh, U., Kelley, T.J., Parthasarathy Rao, P., Johansen, C. & Saxena, N.P., 1997b. Chickpea. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 100–113.

Singh, L., Silim, S.N., Baudoin, J.P., Kimani, P.M. & Mwang'ombe, A.W., 2001. Pigeon pea. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co operation, Brussels, Belgium. pp. 360–371.

Singh, S.P., 2001. Broadening the genetic base of common bean cultivars: a review. Crop Science 41(6): 1659–1675.
Singh, S.R. & Rachie, K.O. (Editors), 1985. Cowpea research production and utilization. John Wiley and Sons, Chichester, United Kingdom. 460 pp.
Singh, S.R., Rachie, K.O. & Dashiell, K.E. (Editors), 1987. Soybeans for the tropics: research, production and utilization. John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom. 230 pp.
Skiba, B., Ford, R. & Pang, E.C.K., 2004. Construction of a linkage map based on a Lathyrus sativus backcross population and preliminary investigation of QTLs associated with resistance to ascochyta blight. Theoretical and Applied Genetics 109(8): 1726–1735.
Slafer, G.A., Molina-Cano, J.L., Savin, R., Araus, J.L. & Romagosa, I., 2002. Barley science: recent advances from molecular biology to agronomy of yield and quality. Food Products Press, New York, United States. 565 pp.
Smartt, J., 1976. Tropical pulses. Longman, London, United Kingdom. 348 pp.
Smartt, J., 1984. Evolution of grain legumes. I. Mediterranean pulses. Experimental Agriculture 20: 275–296.
Smartt, J., 1989a. Phaseolus coccineus L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 56–57.
Smartt, J., 1989b. Phaseolus vulgaris L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 60–63.
Smartt, J. (Editor). 1994. The groundnut crop: a scientific basis for improvement. Chapman and Hall, London, United Kingdom. 734 pp.
Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors), 1995. Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. 531 pp.
Smith, C.W. & Dilday, R.H., 2003. Rice: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, United States. 642 pp.
Smith, C.W. & Frederiksen, R.A., 2000. Sorghum: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, New York, United States. 824 pp.
Smith, C.W., Betrán, J. & Runge, E.C.A. (Editors), 2004. Corn: origin, history, technology, and production. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, United States. 949 pp.
Smithson, J.B., Thompson, J.A. & Summerfield, R.J., 1985. Chickpea (Cicer arietinum L.). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 312–390.
Sohn, M.H., Lee, S.Y. & Kim, K.E., 2003. Prediction of buckwheat allergy using specific IgE concentrations in children. Allergy 58(12): 1308–1310.
Somasegaran, P., Hoben, H.J. & Lewinson, L., 1991. Symbiotic interactions of Phaseolus acutifolius and P. acutifolius × P. vulgaris hybrid progeny in symbiosis with Bradyrhizobium spp. and Rhizobium leguminosarum bv. phaseoli. Canadian Journal of Microbiology 37(7): 497–503.
Sonnante, G. & Pignone, D., 2001. Assessment of genetic variation in a collection of lentil using molecular tools. Euphytica 120: 301–307.
Souframanien, J. & Gopalakrishna, T., 2004. A comparative analysis of genetic diversity in blackgram genotypes using RAPD and ISSR markers. Theoretical and Applied Genetics 109: 1687–1693.
Southon, I.W., Bisby, F.A., Buckingham, J. & Harborne, J.B., 1994. Phytochemical dictionary of the Leguminosae. Volume 1: Plants and their constituents. Chapman and Hall, London, United Kingdom. 1051 pp.
Spencer, P.S., 1994. Human consumption of plant materials with neurotoxic potential. Acta Horticulturae 375: 341–348.
Spies, J.J. & Jonker, A., 1987. Chromosome studies on African plants. 4. Bothalia 17(1): 135–136.
Sprague, G.F. & Dudley, J.W., 1988. Corn and corn improvement. 3rd Edition. Agronomy Series No 18. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America & Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, United States. 986 pp.
Srivastava, A. & Joshi, L.D., 1990. Effect of feeding black gram (Phaseolus mungo) on serum lipids of normal and diabetic guinea pigs. Indian Journal of Medical Research, section B: 92: 383–386.
Srivastava, J.P., 1984. Durum wheat: its world status and potential in the Middle East and North Africa. Rachis 3(1): 1–8.
Stalker, H.T., 1997. Peanut (Arachis hypogaea L.). Field Crops Research 53: 205–217.

Stallknecht, G.F. & Schulz-Schaeffer, J.R., 1993. Amaranth rediscovered. In: Janick, J. & Simon, J.E. (Editors). New crops. Proceedings of the Second National Symposium. John Wiley & Sons, New York, United States. pp. 211–218.

Stanton, W.R., 1966. Grain legumes in Africa. FAO, Rome, Italy. 183 pp.

Stapf, O., 1916. Digitaria exilis Stapf. Hooker's Icones Plantarum 31: t. 3068.

Stapf, O., 1917–1934. Gramineae. In: Prain, D. (Editor). Flora of tropical Africa. Volume 9. L. Reeve & Co., Ashford, United Kingdom. 1100 pp.

Steenkamp, V., 2003. Traditional herbal remedies used by South African women for gynaecological complaints. Journal of Ethnopharmacology 86: 97–108.

Steinman, H.A., 1996. 'Hidden' allergens in foods. The Journal of Allergy and Clinical Immunology 98(2): 241–250.

Stenhouse, J.W. & Tippayaruk, J.L., 1996. Sorghum bicolor (L.) Moench. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 130–136.

Stenhouse, J.W., Prasada Rao, K.E., Gopal Reddy, V. & Appa Rao, S., 1997. Sorghum. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 292–308.

Stoop, W.A., 1986. Agronomic management of cereal/cowpea cropping systems for major toposequence land types in the West African savanna. Field Crops Research 14: 301–319.

Story, R., 1958. Some plants used by the bushmen in obtaining food and water. Memoirs of the Botanical Survey of South Africa No 30. 113 pp.

Sudha, N., Mushtari Begum, J., Shambulingappa, K.G. & Babu, C.K., 1995. Nutrients and some anti-nutrients in horsegram (Macrotyloma uniflorum (Lam.) Verdc.). Food and Nutrition Bulletin 16(1): 81–83.

Sumi, A. & Katayama, T.C., 1994. Studies on agronomic traits of African rice (Oryza glaberrima Steud.). 1. Growth, yielding ability and water consumption. Japanese Journal of Crop Science 63: 96–104.

Summerfield, R.J. (Editor), 1988. World crops: cool season food legumes. A global perspective of the problems and prospects for crop improvement in pea, lentil, faba bean and chickpea. Proceedings of the international food legume research conference on pea, lentil, faba bean and chickpea held at the Sheraton Hotel, Spokane, Washington D.C., USA, 6–11 July 1986. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 1179 pp.

Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors), 1985. Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. 859 pp.

Sun, M., Chen, H. & Leung, F.C., 1999. Low-Cot DNA sequences for fingerprinting analysis of germplasm diversity and relationships in Amaranthus. Theoretical and Applied Genetics 99(3–4): 464–472.

Suttie, J.M., 1969. The butter bean (Phaseolus coccineus L.) in Kenya. East African Agricultural and Forestry Journal 35: 211–212.

Suttie, J.M., 2004. Grassland and pasture crops: Avena sativa L. [Internet] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Data/pf000466.htm>. Accessed August 2004.

Taba, S., 1997. Maize. In: Fuccillo, D., Sears, L. & Stapleton, P. (Editors). Biodiversity in trust: conservation and use of plant genetic resources in CGIAR Centres. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. pp. 213–226.

Tabo, R., Ezueh, M.I., Ajayi, O., Asiegbu, J.E. & Singh, L., 1995. Pigeonpea production and utilization in Nigeria. International Chickpea and Pigeonpea Newsletter 2: 47–49.

Tabuti, J.R.S., Lye, K.A. & Dhillion, S.S., 2003. Traditional herbal drugs of Bulamogi, Uganda: plants, use and administration. Journal of Ethnopharmacology 88: 19–44.

Tadesse, N., Ali, K., Gorfu, D., Yusuf, A., Abraham, A., Ayalew, M., Lencho, A., Makkouk, K.M. & Kumari, S.G., 1999. Survey for chickpea and lentil virus diseases in Ethiopia. Phytopathologia Mediterranea 38(3): 149–158.

Tamini, Z., 1995. Étude ethnobotanique de la lentille de terre (Macrotyloma geocarpum Maréchal et Baudet) au Burkina Faso. Journal d'Agriculture Traditionelle et de Botanique Appliquée, nouvelle série, 37(1): 187–199.

Tanner, D. & Raemaekers, R.H., 2001. Wheat. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Coöperation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 101–118.
Tarekegn, A., 1994. Yield potential of rainfed wheat in the central highlands of Ethiopia. MSc Thesis, Alemaya University of Agriculture, Alemaya, Ethiopia. 121 pp.
Tarekegne, A., Gebre, H. & Francis, C.A., 1997. Yield limiting factors to food barley production in Ethiopia. Journal of Sustainable Agriculture 10(2–3): 97–113.
Tateishi, Y., 1988. The distribution and distribution mechanism of Vigna adenantha in Taiwan and the Ryukyus. Journal of Japanese Botany 63(9): 313–318.
Taylor, J.R.N., 2003. Overview: importance of sorghum in Africa. In: Belton, P.S. & Taylor, J.R.N. (Editors). Proceedings of the Workshop on the proteins of sorghum and millets: enhancing nutritional and functional properties for Africa, Pretoria, South Africa, 2–4 April 2003. Afripro. [Internet] <http://www.afripro.org.uk/>. Accessed April 2005.
Tefera, H., Ayele, M. & Assefa, K., 1995. Improved varieties of tef (Eragrostis tef) in Ethiopia. Releases of 1970–1995. Research Bulletin No 1. Debre Zeit Agricultural Research Center, Alemaya University of Agriculture, Debre Zeit, Ethiopia. 32 pp.
Tefera, H., Assefa, K. & Belay, G., 2003. Evaluation of recombinant inbred lines of Eragrostis tef × E. pilosa. Journal of Genetics and Breeding 57: 21–30.
Tefera, H., Belay, G. & Sorrels, M. (Editors), 2001. Narrowing the rift: tef research and development. Proceedings of the International workshop on tef genetics and improvement, 16–19 October 2000, Ethiopian Agricultural Research Organization, Addis Ababa, Ethiopia. 316 pp.
Tekle Haimanot, R., Abegaz, B., Wuhib, E., Kassina, A., Kidane, Y., Kebede, N., Alemu, T. & Spencer, P.S., 1993. Nutritional and neuro-toxicological surveys of Lathyrus sativus consumption in northern Ethiopia. In: Yusuf, H.K.M. & Lambein, F. (Editors). Lathyrus sativus and human lathyrism: progress and prospects. Proceedings of the 2nd International Colloquium Lathyrus/Lathyrism, Dhaka, 10–12 December, 1993. University of Dhaka, Dhaka, Bangladesh. pp. 41–45.
Telaye, A., Bejiga, G., Saxena, M.C. & Solh, M.B. (Editors), 1994. Cool-season food legumes of Ethiopia. Proceedings of the first national cool-season food legumes review conference, 16–20 December 1993, Addis Ababa, Ethiopia. ICARDA, Aleppo, Syria. 440 pp.
Tesemma, T. & Belay, G., 1991. Aspects of Ethiopian tetraploid wheat with emphasis on durum wheat breeding and genetics. In: Gebre-Mariam, H., Tanner, D.G. & Hulluka, M. (Editors). Wheat research in Ethiopia: a historical perspective. Institute of Agricultural Research, Addis Ababa, Ethiopia / International Maize and Wheat Improvement Center, Addis Ababa, Ethiopia. pp. 47–72.
Thomas, H., 1995. Oats. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 133–137.
Thomas, W.T.B., 2003. Prospects for molecular breeding of barley. Annals of Applied Biology 142(1): 1–12.
Thorn, K.A., Tinsley, A.M., Weber, C.W. & Berry, J.W., 1983. Antinutritional factors in legumes of the Sonoran desert. Ecology of Food and Nutrition 13(4): 251–256.
Thulin, M., 1983. Leguminosae of Ethiopia. Opera Botanica 68: 1–223.
Thulin, M., 1989a. Fabaceae (Leguminosae). In: Hedberg, I. & Edwards, S. (Editors). Flora of Ethiopia. Volume 3. Pittosporaceae to Araliaceae. The National Herbarium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia and Department of Systematic Botany, Uppsala University, Uppsala, Sweden. pp. 49–251.
Thulin, M., 1989b. New or noteworthy species of Leguminosae in Northeast tropical Africa. Nordic Journal of Botany 8(5): 457–488.
Thulin, M., 1993. Fabaceae (Leguminosae). In: Thulin, M. (Editor). Flora of Somalia. Volume 1. Pteridophyta: Gymnospermae; Angiospermae (Annonaceae-Fabaceae). Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. pp. 341–465.
Tindall, H.D., 1983. Vegetables in the tropics. Macmillan Press, London, United Kingdom. 533 pp.
Tinsley, A.M., Scheerens, J.C., Alegbejo, J.O., Adan, F.H., Krumhar, K.C., Butler, L.E. & Kopplin, M.J., 1985. Tepary beans (Phaseolus acutifolius var. latifolius): a potential food source for African and Middle Eastern cultures. Qualitas Plantarum: Plant Foods for Human Nutrition 35(2): 87–101.

Toussaint, L., Wilczek, R., Gillett, J.B. & Boutique, R., 1953. Papilionaceae (première partie). In: Robyns, W., Staner, P., Demaret, F., Germain, R., Gilbert, G., Hauman, L., Homès, M., Jurion, F., Lebrun, J., Vanden Abeele, M. & Boutique, R. (Editors). Flore du Congo belge et du Ruanda-Urundi. Spermatophytes. Volume 4. Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo belge, Brussels, Belgium. 314 pp.

Townsend, C.C., 1985. Amaranthaceae. In: Polhill, R.M. (Editor). Flora of Tropical East Africa. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 136 pp.

Townsend, C.C., 1994. Amaranthacées. In: Bosser, J., Cadet, T., Guého, J. & Marais, W. (Editors). Flore des Mascareignes. Familles 136–148. The Sugar Industry Research Institute, Mauritius, l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM), Paris, France & Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. 32 pp.

Townsend, C.C., 2000. Amaranthaceae. In: Edwards, S., Mesfin Tadesse, Demissew Sebsebe & Hedberg, I. (Editors). Flora of Ethiopia and Eritrea. Volume 2, part 1. Magnoliaceae to Flacourtiaceae. The National Herbarium, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia and Department of Systematic Botany, Uppsala University, Uppsala, Sweden. pp. 299–335.

Trouin, M., 1970. Contribution to the caryologic study of some grasses of Darfur (Sudan Republic). Annales de la Faculté des Sciences de Marseille 43(2): 221–226.

Troupin, G., 1982. Flore des plantes ligneuses du Rwanda. Publication No 21. Institut National de Recherche Scientifique, Butare, Rwanda. 747 pp.

Tsegaye, S., 1996. Estimation of outcrossing rate in landraces of tetraploid wheat (Triticum turgidum L.). Plant Breeding 115: 195–197.

Ubi, B.E., Mignouna, H. & Thottapilly, G., 2000. Construction of a genetic linkage map and QTL analysis using a recombinant inbred population derived from an intersubspecific cross of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Breeding Science 50(3): 161–172.

UC SAREP, undated. Cover crop database. [Internet] Sustainable Agriculture Research and Education Program, University of California, Davis, California, United States. <http://www.sarep.ucdavis.edu/ccrop/>. Accessed July 2005.

Uguru, M.I., 1996. A note on Nigerian vegetable cowpea. Genetic Resources and Crop Evolution 43(2): 125–128.

Uguru, M.I., 1998. Traditional conservation of vegetable cowpea in Nigeria. Genetic Resources and Crop Evolution 45: 135–138.

Ukwungwu, M.N., Williams, C.T. & Okhidievbie, O., 1998. Screening of African rice, Oryza glaberrima Steud, for resistance to the African rice gall midge Orseolia oryzivora Harris & Gagne. Insect Science and its Application 18(2): 167–170.

Upadhyaya, H.D., Bramel, P.J. & Singh, S., 2002. Development of a chickpea core subset using geographic distribution and quantitative traits. Crop Science 41(1): 206–210.

USDA, 2004. USDA national nutrient database for standard reference, release 17. [Internet] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville Md, United States. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>. Accessed October 2004 - July 2005.

USDA, 2005. USDA national nutrient database for standard reference, release 18. [Internet] U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory, Beltsville, Maryland, United States. <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp>. Accessed August - September 2005.

USDA, ARS & National Genetic Resources Program, 2001. Germplasm Resources Information Network - (GRIN). [Internet] National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland, United States. <http://www.ars-grin.gov/>. Accessed August 2003 - April 2005.

Valderrama, M.R., Roman, B., Satovic, Z., Rubiales, D., Cubero, J.I. & Torres, A.M., 2004. Locating quantitative trait loci associated with Orobanche crenata resistance in pea. Weed Research 44(4): 323–328.

van den Bergh, M.H. & Iamsupasit, N., 1996. Coix lacryma-jobi L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 84–87.

van der Hoek, H.N. & Jansen, P.C.M., 1996a. Minor cereals. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of SouthEast Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 150–156.

van der Hoek, H.N. & Jansen, P.C.M., 1996b. Panicum miliaceum L. cv. group Proso Millet. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 115–119.

van der Maesen, L.J.G., 1972. Cicer L., a monograph of the genus, with special reference to the chickpea (Cicer arietinum L.), its ecology and cultivation. Veenman, Wageningen, Netherlands. 341 pp.

van der Maesen, L.J.G., 1985. Cajanus DC. and Atylosia W.& A. (Leguminosae): a revision of all taxa closely related to the pigeonpea, with notes on other related genera within the subtribe Cajaninae. Wageningen Agricultural University Papers 85–4. Wageningen Agricultural University, Wageningen, Netherlands. 225 pp.

van der Maesen, L.J.G., 1989a. Cajanus cajan (L.) Millsp. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 39–42.

van der Maesen, L.J.G., 1989b. Cicer arietinum L. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 42–43.

van der Maesen, L.J.G., 2003. Cajaninae of Australia (Leguminosae: Papilionoideae). Australian Systematic Botany 16: 219–227.

van der Westhuizen, H.C., Snyman, H.A., van Rensburg, W.L.J. & Potgieter, J.H.J., 2001. The quantification of grazing capacity from grazing- and production values for forage species in semi arid grasslands of southern Africa. African Journal of Range & Forage Science 18(1): 43–52.

van der Zon, A.P.M., 1992. Graminées du Cameroun. Volume 2, Flore. Wageningen Agricultural University Papers 92–1. Wageningen Agricultural University. Wageningen, Netherlands. 557 pp.

van Ginkel, M. & Villareal, R.L., 1996. Triticum L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 137–143.

van Oers, C.C.C.M., 1989a. Vigna aconitifolia (Jacq.) Maréchal. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 66–67.

van Oers, C.C.C.M., 1989b. Vigna angularis (Willd.) Ohwi & Ohashi. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 67–69.

van Oers, C.C.C.M., 1989c. Vigna umbellata (Thunb.) Ohwi & Ohashi. In: van der Maesen, L.J.G. & Somaatmadja, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 1. Pulses. Pudoc, Wageningen, Netherlands. pp. 75–77.

van Oudtshoorn, F., 1999. Guide to grasses of Southern Africa. Briza Publications, Pretoria, South Africa. 288 pp.

van Santen, E., Wink, M., Weissmann, S. & Römer, P. (Editors), 2000. Lupin, an ancient crop for the new millennium: proceedings of the 9th international lupin conference, Klink/Müritz, Germany, 20–24 June, 1999. International Lupin Association, Canterbury, New Zealand. 481 pp.

van Wyk, B.E. & Gericke, N., 2000. People's plants: a guide to useful plants of southern Africa. Briza Publications, Pretoria, South Africa. 351 pp.

vander Willigen, C., Pammenter, N.W., Jaffer, M.A., Mundree, S.G. & Farrant, J.M., 2003. An ultrastructural study using anhydrous fixation of Eragrostis nindensis, a resurrection grass with both desiccation-tolerant and -sensitive tissues. Functional Plant Biology 30(3): 281–290.

Vanderborght, T. & Baudoin, J.P., 2001. Cowpea. In: Raemaekers, R.H. (Editor). Crop production in tropical Africa. DGIC (Directorate General for International Co-operation), Ministry of Foreign Affairs, External Trade and International Co-operation, Brussels, Belgium. pp. 334–348.

Varisai Mohamed, S., Wang, C.S., Thiruvengadam, M. & Jayabalan, N., 2004. In vitro plant regeneration via somatic embryogenesis through cell suspension cultures of horsegram (Macrotyloma uniflorum (Lam.) Verdc.). In Vitro Cellular and Developmental Biology - Plant 40(3): 284–289.

Vaughan, D.A. & Chang, T.-T., 1992. In situ conservation of rice genetic resources. Economic Botany 46(4): 368–383.

Vaughan, J.G. & Geissler, C.A., 1997. The new Oxford book of food plants. Oxford University Press, Oxford, United Kingdom. 239 pp.

Vázquez, A.M. & Linacero, R., 1995. Somatic embryogenesis in rye (Secale cereale L.). In: Bajaj, Y.P.S. (Editor). Biotechnology in agriculture and forestry No 31. Somatic embryogenesis and synthetic seed II. Springer-Verlag, Berlin, Germany. pp. 40–52.
Vecchio, V., Simoni, G. & Casini, P., 1996. Temperature ottimali di germinazione e tolleranza al freddo del tef (Eragrostis tef (Zucc.) Trotter). Rivista di Agronomia 30(4): 629–636.
Veldkamp, J.F., 1996a. Brachiaria, Urochloa (Gramineae - Paniceae) in Malesia. Blumea 41: 413–437.
Veldkamp, J.F., 1996b. Revision of Panicum and Whiteochloa in Malesia (Gramineae - Paniceae). Blumea 41: 181–216.
Veldkamp, J.F., Wijs, A.W.M. & Zoetemeyer, R.B., 1989. Panicum curviflorum and P. sumatrense (P. miliare auct.) (Gramineae) in Southeast Asia. Blumea 34: 77–85.
Verdcourt, B., 1980. The classification of Dolichos L. emend. Verdc., Lablab Adans., Phaseolus L., Vigna Savi and their allies. In: Summerfield, R.J. & Bunting, A.H. (Editors). Advances in legume science. Volume 1 of the proceedings of the international legume conference, Kew, 31 July – 4 August 1978, held under auspices of the Royal Botanic Gardens, Kew, the Missouri Botanical Garden, and the University of Reading. Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, United Kingdom. pp. 45–48.
Verdcourt, B., 1982. A revision of Macrotyloma (Leguminosae). Hooker's Icones Plantarum 38(4): 1–138.
Vergara, B.S. & Chang, T.T., 1983. The flowering response of the rice plant to photoperiod - a review of the literature. 4th edition. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Philippines. 61 pp.
Vergara, B.S. & de Datta, S.K., 1996. Oryza sativa L. In: Grubben, G.J.H. & Partohardjono, S. (Editors). Plant Resources of South-East Asia No 10. Cereals. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands. pp. 106–115.
Victor, J.E., undated. Tylosema esculentum (Burch.) Schreiber. [Internet] FAO Crop and Grassland Service (AGPC), Rome, Italy. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/Safricadata/tylesc.htm>. Accessed June 2004.
Vietmeyer, N.D., 1978. The plight of the humble crops. Ceres 11(2): 23–27.
Vodouhè, S.R. & Achigan Dako, E. (Editors), 2003. Renforcement de la contribution du fonio à la sécurité alimentaire et aux revenus des paysans en Afrique de l'Ouest. Actes du séminaire régional sur le fonio, 19–22 Novembre 2001, Bamako, Mali. IPGRI -SSA, Nairobi, Kenya. 71 pp.
Vodouhè, S.R., Zannou, A. & Achigan Dako, E. (Editors), 2003. Actes du premier atelier sur la diversité génétique du fonio (Digitaria exilis Stapf.) en Afrique de l'Ouest. Conakry, Guinée, 4–6 août 1998. IPGRI, Rome, Italy. 73 pp.
von Bothmer, R., Jacobsen, N. & Baden, C., 1995. An ecogeographical study of the genus Hordeum. 2nd Edition. Systematic and ecogeographic studies on crop genepools 7. IBPGR, Rome, Italy. 129 pp.
von Bothmer, R., van Hintum, T., Knüpffer, H. & Sato, K., 2003. Diversity in barley (Hordeum vulgare). Developments in plant genetics and breeding No 7. Elsevier, Amsterdam, Netherlands. 280 pp.
von Koenen, E., 2001. Medicinal, poisonous and edible plants in Namibia. Klaus Hess Verlag, Göttingen, Germany. 336 pp.
Walker, D.J. & Boxall, R.A., 1974. An annotated list of the insects associated with stored products in Ethiopia, including notes on mites found in Harar Province. East African Agriculture and Forestry Journal 39: 330–335.
Walter, K.S. & Gillett, H.J. (Editors), 1998. 1997 IUCN red list of threatened plants. IUCN, Gland, Switzerland. 862 pp.
Wang, H.X. & Ng, T.B., 2000. Examination of lectins, polysaccharopeptide, alkaloid, coumarin and trypsin inhibitors for inhibitory activity against Human Immunodeficiency Virus reverse transcriptase and glycohydrolases. Planta Medica 67(7): 669–672.
Wanous, M.K., 1990. Origin, taxonomy and ploidy of the millets and minor cereals. Plant Varieties and Seeds 3(2): 99–112.
Watanabe, H., Futakuchi, K., Jones, M.P., Teslim, I. & Sobambo, B.A., 2002. Brabender viscogram characteristics of interspecific progenies of Oryza glaberrima Steud and O. sativa L. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology 49(3): 155–165.

Watt, J.M. & Breyer-Brandwijk, M.G., 1962. The medicinal and poisonous plants of southern and eastern Africa. 2nd Edition. E. and S. Livingstone, London, United Kingdom. 1457 pp.
Webb, C.G. & Hawtin, G.C., 1981. Lentils. CAB, Farnham Royal, United Kingdom. 216 pp.
Weber, S.A., 1991. Plants and Harappan subsistence: an example of stability and change from Rojdi. Wetview Press, Boulder, Colorado, United States. 200 pp.
Webster, B.D., Ross, R.M. & Sigourney, M.C., 1980. A morphological study of the development of reproductive structures of Phaseolus coccineus Lam. Journal of the American Society for Horticultural Science 105(6): 828–833.
Weiss, E.A., 2000. Oilseed crops. 2nd Edition. Blackwell Science, London, United Kingdom. 364 pp.
Welch, R.W. (Editor), 1995. The oat crop: production and utilization. Chapman & Hall, London, United Kingdom. 584 pp.
Weston, L.A., 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. Agronomy Journal 88: 860–866.
Westphal, E., 1974. Pulses in Ethiopia, their taxonomy and agricultural significance. Agricultural Research Reports 815. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, Netherlands. 263 pp.
Westphal, E., 1981. L'agriculture autochtone au Cameroun: les techniques culturales, les séquences de culture, les plantes alimentaires et leur consommation. Miscellaneous papers No 20. Landbouwhogeschool Wageningen, Netherlands. 175 pp.
White, J.W. & Montes, R.C., 1993. The influence of temperature on seed germination in cultivars of common bean. Journal of Experimental Botany 44(269): 1795–1800.
White, P.J. & Johnson, L.A. (Editors), 2003. Corn: chemistry and technology. 2nd Edition. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota, United States. 892 pp.
Whiteman, P.C., Byth, D.E. & Wallis, E.S., 1985. Pigeonpea (Cajanus cajan (L.) Millsp.). In: Summerfield, R.J. & Roberts, E.H. (Editors). Grain legume crops. Collins, London, United Kingdom. pp. 658–698.
Wickens, G.E., 1998. Ecophysiology of economic plants in arid and semi-arid lands. Springer Verlag, Berlin, Germany. 343 pp.
Widjaja, R., Craske, J.D. & Wootton, M., 1996. Comparative studies on volatile components of non-fragrant and fragrant rices. Journal of the Science of Food and Agriculture 70(1): 151–161.
Wiedenroth, E.-M., 1991. Florenschutz durch Florennutzung in Rwanda. Gleditschia 19(2): 379–384.
Wiese, M.V., 1987. Compendium of wheat diseases. 2nd edition. American Phytopathological Society (APS) Press, St. Paul, Minnesota, United States. 112 pp.
Wight, C.P., Tinker, N.A., Kianian, S.F., Sorrells, M.E., O'Donoughue, L.S., Hoffman, D.L., Groh, S., Scoles, G.J., Li, C.D., Webster, F.H., Phillips, R.L., Rines, H.W., Livingston, S.M., Armstrong, K.C., Fedak, G. & Molnar, S.J., 2003. A molecular marker map in 'Kanota' × 'Ogle' hexaploid oat (Avena spp.) enhanced by additional markers and a robust framework. Genome 46(1): 28–47.
Williams, J.T. & Brenner, D., 1995. Grain amaranths. In: Williams, J.T. (Editor). Cereals and pseudo-cereals. Chapman & Hall, London, United Kingdom. pp. 129–185.
Williams, J.T. & Farias, R.M., 1972. Utilization and taxonomy of the desert grass Panicum turgidum. Economic Botany 26(1): 13–20.
Williams, K.J., 2003. The molecular genetics of disease resistance in barley. Australian Journal of Agricultural Research 54: 1065–1079.
Williams, P.C., Bhatty, R.S., Deshpande, S.S., Hussein, L.A. & Savage, G.P., 1994. Improving nutritional quality of cool season food legumes. In: Muehlbauer, F.J. & Kaiser, W.J. (Editors). Expanding the production and use of cool season food legumes: a global perspective of persistent constraints and of opportunities and strategies for further increasing the productivity and use of pea, lentil, faba bean, chickpea and grasspea in different farming systems. Proceedings of the second international food legume research conference on pea, lentil, faba bean, chickpea, and grasspea, Cairo, Egypt, 12–16 April 1992. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. pp. 113–129.
Williamson, J., 1955. Useful plants of Nyasaland. The Government Printer, Zomba, Nyasaland. 168 pp. (Reprint: Williamson, J., 1975. Useful plants of Malawi. University of Malawi, Zomba, Malawi).

Wilmot-Dear, C.M., 1984. A revision of Mucuna (Leguminosae - Phaseoleae) in China and Japan. Kew Bulletin 39(1): 23–65.

Wilmot-Dear, C.M., 1991. A revision of Mucuna (Leguminosae - Phaseoleae) in the Philippines. Kew Bulletin 46(2): 213–251.

Wilmot-Dear, C.M., 1992. A revision of Mucuna (Leguminosae: Phaseoleae) in Thailand, Indochina and the Malay Peninsula. Kew Bulletin 47(2): 203–245.

Wilson, J.P., 2000. Pearl millet diseases. A compilation of information on the known pathogens of pearl millet Pennisetum glaucum (L.) R. Br. Agriculture Handbook No 716. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Washington D.C., United States. 50 pp.

Wilt, T.J., Ishani, A., Rutks, I. & MacDonald, R., 2000. Phytotherapy for benign prostatic hyperplasia. Public Health Nutrition 3(4A): 459–472.

Woldeamlak, A., 2001. Mixed cropping of barley (Hordeum vulgare) and wheat (Triticum aestivum) landraces in the central highlands of Eritrea. PhD thesis, Wageningen University, Netherlands. 220 pp.

Wortmann, C.S., Kirkby, R.A., Eledu, C.A. & Allen, D.J., 1998. Atlas of common bean (Phaseolus vulgaris) production in Africa. CIAT Publication 297. CIAT, Cali, Colombia. 133 pp.

Wroth, J.M., 1998. Possible role for wild genotypes of Pisum sativum spp. to enhance Ascochyta blight resistance in pea. Australian Journal of Experimental Agriculture 38: 469–479.

Wu, S.J., Wang, J.S., Lin, C.C. & Chang, C.H., 2001. Evaluation of hepatoprotective activity of legumes. Phytomedicine 8(3): 213–219.

Wuletaw, T. & Endashaw, B., 2003. Variation and association of morphological and biochemical characters in grass pea (Lathyrus sativus L.). Euphytica 130(3): 315–324.

Wynne, J.C. & Gregory, W.C., 1981. Peanut breeding. Advances in Agronomy 34: 39–72.

Wynne, J.C., Beute, M.K. & Nigam, S.N., 1991. Breeding for disease resistance in peanut. (Arachis hypogaea L). Annual Review of Phytopathology 29: 279–303.

Yabuno, T., 1968. Biosystematic studies of Echinochloa stagnina (Retz.) P. Beauv. and Echinochloa pyramidalis (Lamk.) Hitchc. et Chase. Cytologia 33(3–4): 508–519.

Yabuno, T., 1983. Biology of Echinochloa species. In: Proceedings of the Conference on Weed Control in Rice, 31 August – 4 September 1981. IRRI, Los Baños, Philippines. pp. 307–318.

Yabuno, T., 1988. Cytological relationship between Echinochloa obtusiflora Stapf and the Kenyan diploid strain of E. pyramidalis (Lamk.) Hitchc. et Chase. Cytologia 53: 93–96.

Yahya, A. & Durand, B., 1991. Le yeheb: un arbuste aux multiples usages en forte régression. In: Riedacker, A., Dreyer, E., Pafadnam, C., Joly, H. & Bory, G. (Editors). Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides. Séminaire, Paris-Nancy, 20 mars–6 avril 1990. John Libbey Eurotext, Paris, France. pp. 457–463.

Yamada, T., Teraishi, M., Hattori, K. & Ishimoto, M., 2001. Transformation of azuki bean by Agrobacterium tumefaciens. Plant Cell, Tissue and Organ Culture 64: 47–54.

Yamaguchi, H., 1992. Wild and weed azuki beans in Japan. Economic Botany 46(4): 384–394.

Ye, X.Y. & Ng, T.B., 2002. A new antifungal peptide from rice beans. Journal of Peptide Research 60(2): 81–87.

Yirga, C., Alemayehu, F. & Sinebo, W. (Editors), 1998. Barley-based farming systems in the highlands of Ethiopia. Ethiopian Agricultural Research Organization, Addis Ababa, Ethiopia. 117 pp.

Yizengaw, T. & Verheye, W., 1994. Modeling production potentials of tef (Eragrostis tef) in the central highlands of Ethiopia. Soil Technology 7(3): 269–277.

Yu, Z.H., Stall, R.E. & Vallejos, C.E., 1998. Detection of genes for resistance to common bacterial blight of beans. Crop Science 38(5): 1290–1296.

Yunus, A.G. & Jackson, M.T., 1991. The genepools of the grasspea (Lathyrus sativus L.). Plant Breeding 106: 319–328.

Zan, K., John, V.T. & Alam, M.S., 1985. Rice production in Africa: an overview. In: Rice improvement in Eastern, Central, and Southern Africa. IRRI, Manila, Philippines. pp. 7–27.

Zeller, F.J. & Hsam, S.L.K., 2004. Buchweizen - die vergessene Kulturpflanze. Biologie in Unserer Zeit 34(1): 24–31.

Zemede Asfaw & Mesfin Tadesse, 2001. Prospects for sustainable use and development of wild food plants in Ethiopia. Economic Botany 55(1): 47–62.

Zhou, H., Berg, J.D., Blank, S.E., Chay, C.A., Chen, G., Eskelsen, S.R., Fry, J.E., Hoi, S., Hu, T., Isakson, P.J., Lawton, M.B., Metz, S.G., Rempel, C.B., Ryerson, D.K., Sansone, A.P., Shook, A.L.,

Starke, R.J., Tichota, J.M. & Valenti, S.A., 2003. Field efficacy assessment of transgenic Roundup Ready wheat. Crop Science 43(3): 1072–1075.

Zhou, X., Jellen, E.N. & Murphy, J.P., 1999. Progenitor germplasm of domesticated hexaploid oat. Crop Science 39(4): 1208–1214.

Zimsky, M., 1990. Using nitrogen fixing trees for human food. NFTA (Nitrogen Fixing Tree Association) News 11: 1–2, 6.

Zohary, D., 1995. Lentil. In: Smartt, J. & Simmonds, N.W. (Editors). Evolution of crop plants. 2nd Edition. Longman, London, United Kingdom. pp. 271–274.

Zong, X.X., Kaga, A., Tomooka, N., Wang, X.W., Han, O.K. & Vaughan D., 2003. The genetic diversity of the Vigna angularis complex in Asia. Genome 46: 647–658.

Index des noms scientifiques des plantes

Les numéros de page en caractères gras renvoient au traitement principal ; ceux en italique renvoient aux dessins au trait.
Les noms d'espèces cités dans la section sur "Céréales et légumes secs ayant un autre usage primaire" (p. 269) ne sont pas répétés ici.

Index des noms vernaculaires des plantes

PROTA
Plant Resources of Tropical Africa
Ressources végétales de l'Afrique tropicale

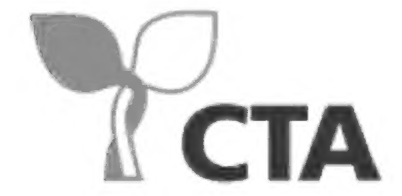
PROTA en bref

Le programme "Ressources végétales de l'Afrique tropicale" (PROTA) a été lancé en 2000 et est devenu un partenariat de 11 institutions dans 11 pays pendant la Phase préparatoire 2000–2003. Depuis le 19 février 2003, PROTA fonctionne en tant que fondation internationale, domiciliée à Wageningen, Pays-Bas.

PROTA est un important programme "de synthèse d'informations et de rapatriement des connaissances". Ce programme se propose d'introduire dans le domaine public (africain) la "littérature mondiale" sur les plantes utiles de l'Afrique tropicale, accessible uniquement à quelques privilégiés à l'heure actuelle, et de contribuer à une plus grande conscience des plantes et à leur usage durable, dans le respect des connaissances traditionnelles et des droits de propriété intellectuelle. PROTA décrira les quelque 7000 plantes utiles pendant la Phase opérationnelle 2003–2012. Les véhicules d'information seront des bases de données sur le web (www.prota.org) accessibles gratuitement, une série de livres et de CD-Rom à prix bas représentant 16 groupes d'usage, et des produits spéciaux par groupe d'usage pour les acteurs du développement rural, de l'éducation, de la recherche et de la politique (tous en anglais et en français).

PROTA 1 : Céréales et légumes secs (2006)
PROTA 2 : Légumes (2004)
PROTA 3 : Colorants et tanins (2005)
PROTA 4 : Plantes ornementales
PROTA 5 : Plantes fourragères
PROTA 6 : Fruits
PROTA 7 : Bois d'œuvre
PROTA 8 : Sucres et amidons
PROTA 9 : Plantes auxiliaires
PROTA 10 : Bois de feu
PROTA 11 : Plantes médicinales
PROTA 12 : Epices et condiments
PROTA 13 : Huiles essentielles et exsudats
PROTA 14 : Oléagineux
PROTA 15 : Plantes stimulantes
PROTA 16 : Plantes à fibres

PROTA, B.P. 341, 6700 AH Wageningen, Pays-Bas (www.prota.org)



partageons les connaissances au profit des communautés rurales

sharing knowledge, improving rural livelihoods

Le CTA en bref

Le Centre technique de coopération agricole et rurale (CTA) a été créé en 1983 dans le cadre de la Convention de Lomé entre les Etats du Groupe ACP (Afrique, Caraïbes, Pacifique) et les pays membres de l'Union européenne. Depuis 2000, le CTA exerce ses activités dans le cadre de l'Accord de Cotonou ACP-CE.

Le CTA a pour mission de développer et de fournir des services qui améliorent l'accès des pays ACP à l'information pour le développement agricole et rural, et de renforcer les capacités de ces pays à produire, acquérir, échanger et exploiter l'information dans ce domaine. Les programmes du CTA sont conçus pour : fournir un large éventail de produits et services d'information et mieux faire connaître les sources d'information pertinentes ; encourager l'utilisation combinée de canaux de communication adéquats et intensifier les contacts et les échanges d'information, entre les acteurs ACP en particulier ; renforcer la capacité ACP à produire et à gérer l'information agricole et à mettre en œuvre des stratégies de GIC, notamment en rapport avec la science et la technologie. Le travail du CTA tient compte de l'évolution des méthodologies et des questions transversales telles que le genre et le capital social.

CTA, B.P. 380, 6700 AJ Wageningen, Pays-Bas (www.cta.int)



AFRIQUE DE L'OUEST

1. Cap-Vert
2. Mauritanie
3. Sénégal
4. Gambie
5. Guinée-Bissau
6. Guinée
7. Sierra Leone
8. Liberia
9. Côte d'Ivoire
10. Mali
11. Burkina Faso
12. Ghana
13. Togo
14. Bénin
15. Niger
16. Nigeria

AFRIQUE CENTRALE

17. São Tomé-et-Principe
18. Cameroun
19. Tchad
20. Centrafrique
21. Guinée équatoriale
22. Gabon
23. Congo
24. République démocratique du Congo
25. Rwanda
26. Burundi

AFRIQUE DE L'EST

27. Soudan
28. Erythrée
29. Ethiopie
30. Djibouti
31. Somalie
32. Kenya
33. Ouganda
34. Tanzanie

AFRIQUE AUSTRALE

35. Malawi
36. Zambie
37. Angola
38. Namibie
39. Botswana
40. Zimbabwe
41. Mozambique

ILES DE L'OCEAN INDIEN

42. Comores
43. Mayotte (Fr)
44. Madagascar
45. Seychelles
46. Réunion (Fr)
47. Maurice

PROTA (Ressources végétales de l'Afrique tropicale) est un programme international portant sur quelque 7000 plantes utiles de l'Afrique tropicale. Son objectif est de rendre la masse des données dispersées sur ces ressources végétales disponible pour l'éducation, la vulgarisation, la recherche et l'économie au travers de bases de données sur Internet, de livres, de CD-Roms et de produits dérivés tels que brochures, prospectus et manuels. Disposer d'une connaissance approfondie des ressources végétales est essentiel pour parvenir à des systèmes d'utilisation de la terre écologiquement équilibrés. Une équipe internationale de nombreux experts contribue à la rédaction des textes sur les espèces. Toutes les espèces sont décrites selon un modèle normalisé qui détaille les aspects suivants: usages, commerce, propriétés, botanique, écologie, agronomie ou sylviculture, ressources génétiques, sélection, perspectives et bibliographie. Dans la série imprimée, les espèces seront classées par groupes d'usage. Pour plus d'information : www.prota.org. Pour rechercher "Protabase" : database.prota.org/search.htm.

Céréales et légumes secs

PROTA 1 porte sur les céréales, les pseudo-céréales et les légumes secs de l'Afrique tropicale. La base de données PROTA "SPECIESLIST" répertorie 250 espèces utilisées comme céréale ou légume sec, mais seulement 82 sont des céréales (42), des pseudo-céréales (3) ou des légumes secs (37) dont c'est l'usage primaire, et seules ces espèces ont été retenues pour ce livre. Les autres 168 espèces ont été listées comme "Céréales et légumes secs ayant un autre usage primaire" et ont été renvoyées à d'autres volumes de l'encyclopédie.
Les 82 espèces dont l'usage primaire est comme "céréales et légumes secs" sont décrites au sein de 73 articles de synthèse, ce qui implique que 9 espèces ne font pas l'objet d'un article séparé par manque de données ; elles sont seulement mentionnées dans les articles sur les espèces apparentées.

ISBN 90-5782-172-9 (livre seul)
ISBN 90-5782-173-7 (livre + CD-Rom)



PROTA, Wageningen, Pays-Bas



Backhuys Publishers, Leiden, Pays-Bas



CTA, Wageningen, Pays-Bas